

CO₂-reductie van beton

De aanpak voor de reductie van CO₂-uitstoot in de betonketen
Afstudeerscriptie



Verantwoording

Titel	:	CO ₂ -reductie van beton
Ondertitel	:	De aanpak voor de reductie van CO ₂ -uitstoot in de betonketen
Project / documentnaam	:	11-01-2024_Afstudeerscriptie_CO2-reductie in de betonketen_ Hester Aanen (publicatieversie)
Auteur(s)	:	Hester Aanen
Studentnummer	:	██████████
E-mail (school)	:	████████████████████
E-mail (werk)	:	██████████████████
Datum	:	27-6-2023
Afstudeerbedrijf	:	Aannemingsbedrijf G. Van der Ven B.V.
Afdeling	:	KAM (Kwaliteit, arbeidsomstandigheden en milieu)
Adresgegevens	:	Van Heemstraweg 2, 5306 TA Brakel
1^e bedrijfsbegeleider	:	██████████████████
2^e bedrijfsbegeleider	:	██████████████████
Onderwijsinstelling	:	Avans Hogeschool Tilburg
Academie	:	Academie voor duurzaam gebouwde omgeving (ADGO)
Opleiding	:	Civiele techniek (dual)
Afstudeeratelier	:	Toekomstgericht bouwen
1^e afstudeerbegeleider	:	██████████
2^e afstudeerbegeleider	:	██████████████████

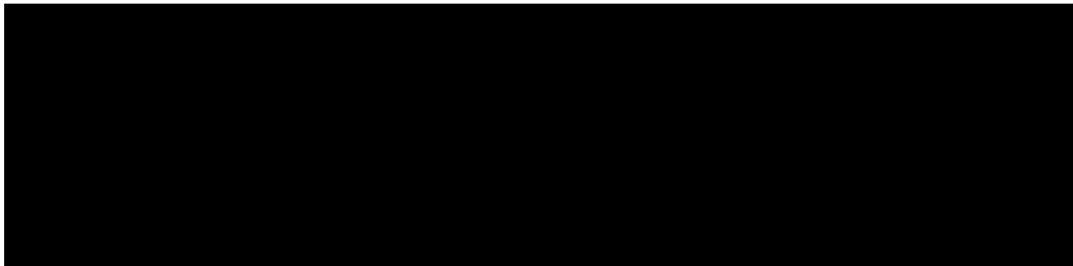
Voorwoord

Ik ben Hester Aanen, 4^e-jaars duale student Civiele Techniek aan de Avans Hogeschool in Tilburg. Als onderdeel van deze studie werk ik vier tot vijf dagen in de week bij aannemingsbedrijf G. Van der Ven B.V (later: Van der Ven) uit Brakel als uitvoerder. Na de vierjarige opleiding Civiele Techniek aan de Avans Hogeschool in Tilburg te hebben gevolgd, sta ik nu op het punt om mijn afstudeerfase te starten. Dit onderzoek vormt het sluitstuk van mijn opleiding, waarbij ik gebruik zal maken van alle kennis die ik in de afgelopen jaren heb opgedaan.

Afgelopen semester (periode 4AB), van september 2023 tot en met januari 2024, stond in het teken van het afstuderen. Ik heb deze periode in opdracht voor aannemingsbedrijf Van der Ven onderzoek gedaan naar CO₂-reductie in de betonketen, en de aanpak voor Van der Ven hierin. In eerste instantie is dit rapport opgesteld voor Van der Ven, maar het heeft potentieel waarde voor de bredere betonsector. Het behandelt een probleem binnen de betonsector vanuit een onafhankelijk perspectief, kijkend naar de markt van de komende 10 jaar en de praktische haalbaarheid, dat relevant is voor iedereen die CO₂-ambities nastreeft binnen deze sector.

Vanuit de toenemende vraag van opdrachtgevers naar de verduurzaming van (bouw)projecten, en de ambitie van Van der Ven om constant voorop te lopen op de markt, is dit afstudeeronderwerp ontstaan. Beton is momenteel de grootste CO₂-uitstoter binnen Van der Ven, en er zijn binnen de organisatie veel vragen over hoe deze grootste CO₂-uitstoter gereduceerd kan worden.

Tijdens deze afstudeeropdracht heb ik het voorrecht gehad om met veel mensen te mogen spreken. Daarnaast heb ik locatiebezoeken mogen uitvoeren bij diverse bedrijven. Deze personen en bedrijven hebben mij een waardevol inzicht gegeven in de stand van zaken binnen de sector met betrekking tot dit ontwerp. Hierbij wil ik mijn oprechte dank betuigen aan de volgende organisaties voor hun medewerking aan dit onderzoek:



Graag zou ik de medewerkers van aannemingsbedrijf Van der Ven, met in het bijzonder [REDACTED] en [REDACTED] bedanken voor de begeleiding vanuit Van der Ven. Daarnaast wil ik mijn begeleiders vanuit Avans Hogeschool, [REDACTED] en [REDACTED], bedanken voor hun begeleiding, feedback en kritische blik tijdens deze afstudeerperiode.

Ik wens u veel leesplezier toe!

Hester Aanen
Brakel, 15 december 2023

Samenvatting

Alle bouw- en infrabedrijven hebben te maken met duurzaamheid. In het klimaatakkoord voor 2030 is bijvoorbeeld de doelstelling van 49% reductie van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 vastgelegd. Naast deze wet- en regelgeving schenken ook steeds meer opdrachtgevers aandacht aan CO₂-reductie. Van der Ven wil als aannemingsbedrijf voorop lopen in de markt en heeft daarom een scope-3 analyse uitgevoerd. Dit is een analyse van de indirecte CO₂-emissies die voortkomen uit externe bronnen, welke niet in eigendom of beheer zijn van de organisatie. Uit deze scope-3 analyse is gebleken dat de productcategorie beton met ruim 65% de grootste CO₂-uitstoter is. De KAM-afdeling heeft momenteel niet voldoende capaciteit om deze reductiecijfers te onderzoeken, te monitoren en mogelijke verbeteringen te implementeren binnen de projecten om de reductiedoelstellingen op tijd te kunnen behalen.

Daarom heeft Van der Ven gevraagd om te onderzoeken hoe deze hoeveelheid CO₂ tot stand komt op de projecten, en hoe deze gereduceerd kan worden, inclusief de monitoring hiervan. De hoofdvraag luidt: *'Hoe kan de grootste CO₂-uitstoter binnen Aannemingsbedrijf van der Ven; beton, gereduceerd worden, rekening houdend met de markt van de komende 10 jaar en de praktische haalbaarheid?'.* Het adviesrapport dat uit het onderzoek voortvloeit is gericht op het verminderen van de CO₂-uitstoot in de betonketen, van grondstofwinning tot afvalverwerking. Het doel is een vermindering van 20% per bestede euro in 2030 ten opzichte van 2024, met de ambitie naar 40% reductie.

Om de hoofdvraag te beantwoorden, zijn diverse stappen doorlopen. Ten eerste is de huidige situatie in kaart gebracht, middels literatuuronderzoek naar de totstandkoming van de scope-3 analyse. Daarnaast is er literatuuronderzoek, met aanvullend fieldresearch, uitgevoerd naar de ketenanalyse van beton. Om inzicht te krijgen in de bestaande maatregelen en plannen van zowel Van der Ven als andere bedrijven in de branche met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen is er desk- en fieldresearch (waaronder locatiebezoeken en interviews) toegepast.

Vervolgens is de theorie in de praktijk toegepast om de gewenste situatie te bereiken. Dit gebeurde door middel van desk- en fieldresearch, waarbij een inventarisatie is gemaakt van CO₂-reducerende maatregelen in de betonketen. Dit voor zowel de ontwerp- en voorbereidingsfase als tijdens de uitvoering. Hierbij zijn ook de bijbehorende kosten en baten in kaart gebracht. Vervolgens is middels toegepast onderzoek bepaald welke maatregelen bij Van der Ven geïmplementeerd kunnen worden, door het opstellen van een Multi Criteria Analyse. Voor deze maatregelen is vervolgens een implementatieplan opgesteld (beroepsproduct).

Daarna is er onderzoek gedaan naar registratie- en monitoring van de CO₂-uitstoot in de betonketen. Middels desk- en fieldresearch is onderzoek gedaan naar methodieken en rekentools voor registratie en monitoring. Vervolgens is middels toegepast onderzoek een registratie- en monitoringstool ontwikkeld (beroepsproduct). Daarnaast is er onderzoek gedaan naar de maximale haalbare CO₂-reductie, zowel theoretisch als praktisch.

Tot slot is middels toegepast onderzoek gekeken naar de vervolgstappen voor Van der Ven en de samenwerking met partners voor de implementatie van dit onderzoek. Tevens zijn er conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan op basis van het uitgevoerde onderzoek. De belangrijkste conclusie is dat ten

eerste project specifiek bepaald moet worden welke CO₂-reducerende maatregelen er geïmplementeerd kunnen worden door de werkwijze uit het implementatieplan te volgen. Ten tweede moet de CO₂-uitstoot van beton geregistreerd en gemonitord worden, en ten derde moet er worden samengewerkt met partners. Op deze manier kan de grootste CO₂-uitstoter binnen Van der Ven; beton, gereduceerd worden en kan tevens de doelstelling van 20% reductie in 2030 behaald worden.

De vervolgstap is het uitvoeren van een nulmeting in 2024. Deze meting is cruciaal om aan te tonen waar Van der Ven zich bevindt zonder de implementatie van maatregelen en vormt de basis voor het aantoonbaar behalen van de reductiedoelstelling. Tevens moeten er in deze periode pilots worden uitgevoerd met de opgestelde stappenplannen voor de processen uit het implementatieplan. Op deze manier kan worden beoordeeld of het implementatieplan de gewenste resultaten oplevert. Tevens wordt aanbevolen om na de nulmeting, in 2025, te starten met de daadwerkelijke implementatie van de CO₂-reducerende maatregelen voor beton. Zo is er voldoende tijd voor het behalen van de gestelde doelstelling in 2030.

Er wordt aanbevolen om de doelstelling van dit onderzoek helder te formuleren en te communiceren binnen Van der Ven, zodat er geen verwarring ontstaat over de precieze inhoud en de uiterlijke deadline van de doelstelling. Daarnaast wordt het aanbevolen om een duurzaamheidscoördinator aan te nemen, als verantwoordelijke voor de implementatie van dit onderzoek binnen Van der Ven en om ondercapaciteit op de KAM-afdeling te voorkomen. Het is tevens van belang dat er wordt samengewerkt met de partners. Ook moeten de CO₂-reducerende maatregelen kritisch worden beoordeeld om schijnoplossingen te voorkomen. Daarnaast wordt het aanbevolen om al het betonwerk, zowel prefab als in het werk gestort beton, te registreren met behulp van de registratie- en monitoringstool. Tot slot wordt het aanbevolen om jaarlijks een evaluatie uit te voeren op basis van de jaarcijfers uit de registratie- en monitoringstool. Zo kan er worden bijgestuurd op basis van de voortgang, en kan het plan eventueel worden aangepast. Daarnaast wordt er vervolgonderzoek geadviseerd naar de implementatie van de registratie- en monitoringstool in ED-controls.

Summary

All construction and infrastructure companies have to deal with sustainability. For example, the climate agreement for 2030 sets the target of a 49% reduction in CO₂-emissions compared to 1990. In addition to these laws and regulations, more and more clients are also focusing on CO₂-reduction. As a construction company, Van der Ven wants to be the market leader and has therefore carried out a scope 3 analysis. This is an analysis of the indirect CO₂-emissions arising from external sources that are not owned or managed by the organization. The scope-3 analysis has shown that the product category "concrete" accounts for over 65% of the total CO₂-emissions. Currently, the QHSE department does not have sufficient capacity to investigate these reduction numbers, monitor them and implement possible improvements within the projects to achieve the reduction targets on time.

That is why Van der Ven has asked to investigate how this amount of CO₂ is produced on the projects and how the production can be reduced and monitored. The main question is: 'How can the largest CO₂ emitter within Van der Ven's construction company; concrete, be reduced, considering the market for the next 10 years and practical feasibility?' The resulting advisory report focuses on reducing CO₂-emissions in the concrete chain, from raw material extraction to waste disposal. The goal is a reduction of 20% per euro spent in 2030 compared to 2024, with the ambition of a 40% reduction.

To answer the main question, several steps were taken. Firstly, the current situation has been mapped out, through a literature study to the development of the scope 3 analysis. In addition, a literature study, with additional field research, was carried out the chain analysis of concrete. Desk and field research, including location visits and interviews, was applied to gain insight into the existing measures and plans related to CO₂-emission reduction in the concrete chain. This applies to both Van der Ven and other companies in the industry.

Subsequently, the theory was applied in practice to achieve the desired situation. This was done through desk and field research, during which an inventory was made of CO₂-reducing measures in the concrete chain. This applies to both the design and preparation phase and the execution phase of a construction project. The associated costs and benefits have also been identified. Following this, applied research determined which measures could be implemented at Van der Ven, using a Multi Criteria Analysis. An implementation plan was subsequently drawn up for these measures (professional product).

Further research was conducted into the registration and monitoring of CO₂-emissions in the concrete chain. Through desk and field research, research has been conducted into methodologies and calculation tools for registration and monitoring. Subsequently, applied research resulted in the development of a registration and monitoring tool (professional product), and an investigation into the maximum achievable CO₂ reduction, both theoretically and practically.

Finally, applied research was used to examine the next steps for Van der Ven and collaboration with partners for the implementation of this research. Conclusions were drawn, and recommendations were made based on the executed research. The most important conclusion is that, firstly, the project must specifically determine which CO₂-reducing measures can be implemented by following the method in the

implementation plan. Secondly, the CO₂-emissions from concrete must be registered and monitored, and thirdly, there must be cooperation with partners. In this way, the largest CO₂-emitter within Van der Ven; concrete, can be reduced and the target of 20% reduction in 2030 can also be achieved.

The next step is to carry out a baseline measurement in 2024. This measurement is crucial to demonstrate where Van der Ven is without the implementation of measures and forms the basis for demonstrably achieving the reduction target. Pilots must also be carried out during this period with the drawn up step-by-step plans for the processes in the implementation plan. In this way it can be assessed whether the implementation plan produces the desired results. It is also recommended to start the actual implementation of the CO₂-reduction measures for concrete after the baseline measurement, in 2025. This leaves sufficient time to achieve the set target in 2030.

It is recommended to clearly formulate and communicate the goal of this research within Van der Ven to avoid confusion about the precise content and deadline of the objective. In addition, it is recommended to hire a sustainability coordinator, who will be responsible for the implementation of this research within Van der Ven and to prevent undercapacity in the QSHE department. It is also important that there is cooperation with the partners. The CO₂-reduction measures must also be critically assessed to avoid false solutions. In addition, it is recommended to register all concrete work, both precast and in-situ concrete, using the registration and monitoring tool. Finally, it is recommended to conduct an annual evaluation based on the annual numbers from the registration and monitoring tool. This allows adjustments to be made based on progress and the plan can be adjusted if necessary. In addition, further research is recommended into the implementation of the registration and monitoring tool in ED controls.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	15
1.1 Organisatieomschrijving	15
1.2 Aanleiding	17
1.3 Probleemdefinitie (probleemstelling)	18
1.4 Onderzoeksopzet	19
1.5 Scope	22
1.6 Praktische relevantie	22
1.7 Doelstelling	24
1.8 Leeswijzer	25
2. Theoretisch kader	26
2.1 Modellen en theorieën	26
2.2 Conceptueel model	28
2.3 Begripsdefinities	28
3. Totstandkoming van de scope 3 analyse	31
3.1 Scope 3 analyse	31
3.2 Scope 3 emissies Van der Ven	33
3.3 Conclusie	34
4. De ketenanalyse van beton	35
4.1 Ketenanalyse	35
4.2 Ketenanalyse beton	35
4.3 Conclusie	39
5. Huidige maatregelen en plannen	40
5.1 Van der Ven	40
5.2 Andere bedrijven in de branche	41
5.3 Conclusie	43
6. Inventarisatie maatregelen	44
6.1 Ontwerp- en voorbereidingsfase	44
6.2 Transport- en bouwfase	50
6.3 Samenvatting	51
7. Implementatie	53
7.1 Proces- en stakeholderanalyse	53

7.2	Multi Criteria Analyse (MCA)	54
7.3	Implementatie	55
7.4	Kosten en baten	56
7.5	Conclusie	58
8.	Registratie en monitoring	59
8.1	Methodieken en rekentools voor registratie en monitoring	59
8.2	Registratie- en monitoringstool	60
8.3	Haalbare CO ₂ -reductie	62
8.4	Conclusie	64
9.	Vervolgstappen	66
9.1	Van der Ven	66
9.2	Samenwerking met de partners	68
9.3	Conclusie	69
10.	Conclusie	70
11.	Aanbevelingen	72
12.	Discussie	74
12.1	Validiteit	74
12.2	Suggesties voor vervolgonderzoek	75
12.3	Terugkoppeling op de SDG's	76
	Nawoord	78
	Tabel- en figuurlijst	79
	Literatuurlijst	80
	Losse bijlagen	84
	Bijlage 1 - Organogram Van der Ven	
	Bijlage 2 - CO ₂ -uitstootgegevens	
	Bijlage 3 - (emissie) Factoren per methode	
	Bijlage 4 - Stakeholderanalyse	
	Bijlage 5 - Voorkeursmaatregelen per periode	
	Bijlage 6 - Scope-3 analyse	
	Bijlage 7 - Product- markt combinaties	
	Bijlagenboekjes	
	Bijlageboekje 1 - Toelichting scope-3 analyse	
	Bijlageboekje 2 - Ketenanalyse beton	
	Bijlageboekje 3 - Maatregellijst inclusief MCA	

Bijlageboekje 4 - Registratie- en monitoringstool

Bijlageboekje 5 - Implementatieplan

Bijlageboekje 6 - Communicatie

Verklarende woordenlijst

Begrip ¹	Verklaring
Betonakkoord	Het Betonakkoord is een nationaal ketenakkoord, gericht op de verduurzaming van de betonsector. Binnen dit akkoord zijn er afspraken vastgelegd waarin elke schakel in de keten zich committeert aan het realiseren van bepaalde doelen en ambities. Zeven uitvoeringsteams zijn actief bezig met de concrete implementatie van de gestelde doelen en ambities binnen de betonketen. (Betonakkoord, 2023)
Bouwplaats	Het afgebakende gebied binnen de grenzen van een bouwproject, doorgaans gemarkeerd met bouwhekken of andere vormen van afscheidingsmateriaal.
De markt	Alle ketenpartners binnen de betonketen, zoals leveranciers, producenten, transporteurs, aannemers, adviseurs, opdrachtgevers, afvalverwerkers, etc.
Duurzaam	Tegemoetkoming aan de levensbehoeften van de huidige generatie, zonder het tekort doen aan de toekomstige generaties, zoals: economische- sociale- en milieubehoefte. Denk hierbij aan een gezonde leefomgeving en een gezonde bevolking. (Centraal Bureau voor de Statistiek, sd)
Innovatie	Alle inspanningen en handelingen binnen een bedrijf, gericht op vernieuwing, verandering en verbetering. (Centraal Bureau voor de Statistiek, sd)
KAM-afdeling	KAM staat voor Kwaliteit, Arbo (of Arbeidsomstandigheden) en Milieu. Met deze drie onderdelen houdt een KAM-afdeling zich bezig binnen een (middel) groot (aannemings)bedrijf. (Kader Academy, sd)
Klimaatakkoord	Het Klimaatakkoord maakt deel uit van het Nederlandse klimaatbeleid en vertegenwoordigt een overeenkomst tussen diverse organisaties en bedrijven in Nederland. Het hoofddoel is het reduceren van de uitstoot van broeikasgassen, waarmee opwarming van de aarde wordt tegengegaan. (Rijksoverheid, 2019)
Kosten- baten analyse	Analyse waarbij de kosten die moeten worden gemaakt worden geanalyseerd in de verhouding tot de daartegenover staande baten. (Ensie, 2019)
Levenscyclusanalyse	De gehele levenscyclus van een product of activiteit, beginnend bij de grondstoffenwinning, door de productie en (her)gebruik tot aan de afvalverwerking. (RIVM, 2018)
Materieel	De benodigde uitrusting, machines en andere middelen die nodig zijn voor een bepaalde taak, project of bedrijfsactiviteit voor het uitvoeren van het werk. (Ensie, 2019)
Multi criteria analyse	Een methode voor het vaststellen van het meest geschikte alternatief uit verschillende opties, waarbij diverse relevante criteria worden overwogen. Deze criteria kunnen onderling variëren in hun belangrijkheid, wat wordt aangegeven door de toekenning van wegingsfactoren. (Ensie, 2011)

¹ Overige definitie zijn opgenomen in het theoretisch kader of in het onderzoek

Afkortingen

Afkorting	Verklaring
AACM	Alkali Activated Cementitious Material
ADR	Advanced Dry Recovery
AEC	Afvalenergiecentrale
BA	Bodemas
BENG	Bijna Energieneutrale Gebouwen
BKA	Betonkernactivering
BPKV	Beste Prijs Kwaliteit Verhouding (ook wel EMVI)
BREEAM-NL	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
BRL	Beoordelingsrichtlijn
CBS	Centraal Bureau voor Statistiek
CC(U)/S	Carbon Capture, Utilisation and Storage
CE	Conformité Européenne
CEM	Cement
CoP	Community of Practice
CSC	Concrete Sustainability Council
CUR	Civieltechnisch Centrum Uitvoer Research en Regelgeving
3D (FEM)	Driedimensionaal (Finite Element Method)
DECC	Department of Energy and Climate Change
DEFRA	Department for Environment, Food & Rural Affairs
DuboCalc	Duurzaam Bouwen Calculator
DV	Deelvraag
ECO	Environmental Conservation Officer
EMVI	Economische Meest Voordelige Inschrijving
EN	Europese Norm
ENCI	Eerste Nederlandse Cement Industrie
EPD	Environmental Product Declaration
ERP	Enterprise resource planning (-systeem)
ESG	Environmental, Social en Governance
ETA	European Technical Assessment
EU	Europa
EUA	Emergency Use Authorization (EU-emissierechten)
GHG (-P)	Greenhouse Gas (Protocol)
GROTIK	Geld, Risico, Organisatie, Tijd, Informatie, Kwaliteit
GWP	Global Warming Potential
GWW	Grond, Weg en Waterbouw
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
IPCC	Intergovernmental Panal of Climate Change
KAM	Kwaliteit, Arbo en Milieu

KIWA	Keurings Instituut voor Waterleiding Artikelen
KOMO	Keuring en Onderzoek van Materialen voor Openbare werken
LCA	Levenscyclusanalyse, onderverdeeld in fasen A1 t/m D
LNG	Liquefied Natural Gas
MCA	Multi Criteria Analyse
MKI	Milieu Kosten Indicator
MPG	Milieu Prestatie Gebouwen
MVO	Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen
NEN	Nederlandse Norm
NMD	Nationale Milieu Database
ON / OG	Opdrachtnemer, Opdrachtgever
PDCA	Plan, Do, Check, Act
pH	Pondus Hydrogenium
PMC	Product Markt Combinatie
Prefab	Prefabricage
PvA	Plan van Aanpak
RCF	Recycled Concrete Fines
R-ladder	De ladder van Lansink
ROK	Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken
RWS	Rijkswaterstaat
SBK	Stichting Bouwkwiteit
SCM	Supplementary Cementitious Materials
SDG	Sustainable Development Goals
SIC	Standard Industrial Classification
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast- Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TRL	Technology Readiness Levels
VECTO	Europese CO ₂ wetgeving
VOBN	Vereniging van Ondernemers van Betonmortelfabrikanten in Nederland
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WCF	Water Cement Factor
WKO	Warmte Koude Opslag
WRI	World Resources Institute
Eenheden	Verklaring
°C	graden Celcius
h(r)	uur
kg	kilogram
km	kilometer
l	liter
m ³	kubieke meter
mg	miligram
t	ton
€	euro
%	procent
kWh	kilowattuur

Scheikundige afkortingen

Afktoring	Verklaring
Al	Aluminium
BCT	Belite Calciumsulfoaluminaat Ternesite
C	Koolstof
Ca	Calcium
CaCO ₃	Calciumcarbonaat
CaO	Calciumoxide
CAS	meliliet
CASH	Entringiet
CaSO ₄	Calciumsulfaat
CH ₄	Methaan
CO ₂	Koolstofdioxide
CO ₂ e	Koolstofdioxide-equivalent
CS	Wollastoniet
C ₃ S ₂	Rankiniet
CSA	Calcium Sulfoaluminaat
CSH	Calcium Silicate Hydrate
HFCs	Hydrofluorocarbons
KOH	Kaliumhydroxide
LC3	Limestone Calcined Clay Cement
NaOH	Natriumhydroxide
N ₂ O	Dikstikstofoxide
NO _x	Stikstof
O ₂	Zuurstof
PFCs	Perfluorchemicals
PM	Fijnstof
SF ₆	Perfluorochemicals
Si	Silicium

1. Inleiding

In dit eerste inleidende hoofdstuk zal verder worden ingegaan op de organisatie waarin dit afstudeeronderzoek zal worden uitgevoerd. Daarnaast wordt de aanleiding, de probleemstelling en de doelstelling van het onderzoek uitgewerkt en worden de hoofd- en deelvragen, de onderzoeksmethodes en -opzet, de scope van dit onderzoek en de praktische relevantie toegelicht. Als laatste wordt in de leeswijzer de opbouw van het onderzoek geïllustreerd.

1.1 Organisatieomschrijving

1.1.1 Het bedrijf Van der Ven

G. van der Ven B.V. (later: Van der Ven) is een familiebedrijf dat in 1968 is opgericht door Gerrit en To van der Ven. Wat ruim 50 jaar geleden begon met een kraantje en een tractor, is nu uitgegroeid tot een veelzijdig, middelgroot aannemingsbedrijf, werkzaam in verschillende sectoren en disciplines. Het bedrijf onder leiding van directeur Huibert van der Ven jr. heeft momenteel ongeveer 100 medewerkers in dienst waarmee dagelijks op kantoor en in het veld aan uitdagende projecten wordt gewerkt in de bouw en infra. In het organogram in [bijlage 1](#) is een schematisch overzicht van de bedrijfsstructuur weergegeven.

Van der Ven is in staat om aan vrijwel elke wens van een opdrachtgever te voldoen en levert innovatieve en duurzame prestaties met betrekking tot het adviseren, ontwerpen, bouwen en onderhouden van infrastructurele- en bouwprojecten. Met de lijfspreuk: “De wereld mooier maken” creëert het bedrijf meerwaarde voor de opdrachtgevers, medewerkers en partners door het samenbrengen van mensen, kennis en middelen tijdens alle fasen van de projectketen. De volgende pijlers dienen als richtlijnen voor de bedrijfsvoering (Van der Ven, sd):

- ▶ Toekomstgericht;
- ▶ Efficiënt en degelijk;
- ▶ Veilig en gezond;
- ▶ Veelzijdigheid.

Met de missie: “Als middelgroot aannemingsbedrijf bedenken en voeren we integrale innovatieve oplossingen uit die de wereld duurzamer en leefbaarder maken” staat duurzaamheid centraal. Dit blijkt ook uit de certificering voor de CO₂-prestatieladder op niveau 5 en de ISO 26000, waarin vastgelegd staat op welke manier het bedrijf maatschappelijk verantwoord onderneemt (Van der Ven, sd).

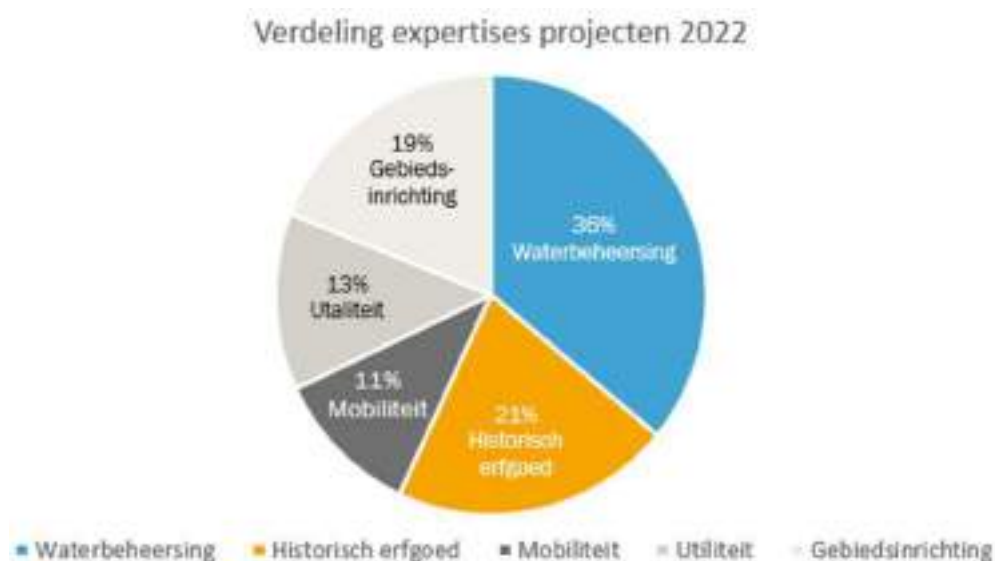
Van der Ven draagt bij aan “de wereld mooier maken” door intensief samen te werken met opdrachtgevers en collega-bedrijven binnen het vakgebied. Van der Ven werkt duurzaam door slim te werken, waardoor projecten worden gerealiseerd die technisch betrouwbaar zijn en voldoen aan budget- en tijdslijmieten. De tevredenheid van eindgebruikers is voor Van der Ven van cruciaal belang voor het succes van de projecten. Daarnaast gaat de aandacht naar een gezonde omgeving, dit blijkt uit het streven naar duurzaamheid en milieubewustzijn, met als doel een emissieloze bouwplaats in 2025. Als familiebedrijf met familietradities streeft Van der Ven ernaar om samen te werken en trots te zijn op wat ze maken en bereiken (Van der Ven, sd).

1.1.2 Projecten

De bedrijfsactiviteiten van Van der Ven zijn gericht op het ontwerpen, engineeren en realiseren van projecten. Hierdoor komen er vaak meerdere disciplines en vaardigheden binnen het werkveld kijken. Van der Ven richt zich primair op 5 expertisegebieden: Waterbeheersing, Mobiliteit, Utiliteit, Gebiedsinrichting en Historisch erfgoed. Onderstaand zijn een aantal recente projecten benoemd die onder een van deze expertisegebieden vallen (Van der Ven, sd):

- ▶ **Waterbeheersing:**
 - Dijkversterking Rijnkade, Arnhem;
 - Reconstructie Bergambachtleiding 1 Westergouwe, Gouda;
 - Bouw spoelwaterterugwinunits, Tilburg en Loosbroek.
- ▶ **Mobiliteit:**
 - Busstalling Westraven, Utrecht;
 - Busstalling en laadvoorziening Remiseweg, Nieuwegein;
 - Nieuwbouw busremise, Breda.
- ▶ **Utiliteit:**
 - Nieuwbouw Havenvaringscentrum, Maasvlakte 2 Rotterdam;
 - Herbouw steunpunt Coenecoop, Waddinxveen;
 - Nieuwbouw Schietoefencomplex, Soesterberg.
- ▶ **Gebiedsinrichting:**
 - Natuurrealisatie Noordrand Midden, Etten-Leur / Prinsenbeek;
 - Aanleg recreatiepark Hornmeer, Aalsmeer;
 - Inrichting 4 natuurgebieden, Diemerscheg.
- ▶ **Historisch erfgoed:**
 - Raamovereenkomst bruggen en kades, Delft;
 - Restauratie Doeversense sluis, Doeveren;
 - Restauratie reduct Fort Rijnauwen, Bunnik.

In figuur 1 is de verdeling weergegeven van de expertises in de projecten: (van Drunen, 2022)



Figuur 1: Verdeling expertises projecten 2022

Aangepast overgenomen uit: Management Review (p. 9) door J. van Drunen, 2023, Brakel: Van der Ven. Geraadpleegd op 1 september 2023. Copyright 2023, Van der Ven.

Om een goed overzicht te geven van de soort projecten welke aangenomen worden, zijn de product-markt-combinaties, op basis van de omzet zeer inzichtelijk, onderstaand weergegeven in tabel 1. Een product-markt-combinatie (PMC) betreft een exclusieve combinatie van een product (of: expertise) voor een specifieke klantengroep. De berekening voor deze PMC's is weergegeven in **bijlage 7**. De berekening is gebaseerd op de omzetgegevens van de crediteuren uit het Enterprise Resource Planning (ERP) systeem Infracore van Van der Ven (Infracore, 2022).

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%

1.2 Aanleiding

Alle bouw- en infrabedrijven hebben te maken met duurzaamheid. In het klimaatakkoord voor 2030 is bijvoorbeeld de doelstelling van 49% reductie van de koolstofdioxide (CO₂)-uitstoot ten opzichte van 1990 vastgelegd. Naast deze wet- en regelgeving komen er ook vragen en eisen vanuit opdrachtgevers of financiers. Duurzaamheid maakt bij steeds meer bedrijven integraal onderdeel uit van de bedrijfsvoering en strategie, het biedt namelijk kansen in de markt. Uit analyses van het aanbestedingsinstituut blijkt dat er de laatste jaren vaker en zwaarder gegund wordt op duurzaamheid, bijvoorbeeld op een emissieloze bouwplaats (Peters & Stravers, 2022). Om mee te kunnen blijven doen moet je als bedrijf voorop lopen in de markt (Bouwend Nederland, sd).

“Bij Aannemingsbedrijf Van der Ven vinden we het belangrijk om op een duurzame en respectvolle wijze het milieu en onze omgeving. Om die reden zijn wij CO₂-prestatieladder niveau 5 gecertificeerd. Met deze tool in handen kunnen we garanderen dat we CO₂ bewust handelen binnen onze bedrijfsvoering en tijdens de uitvoering van onze projecten (Van der Ven, sd). Met de certificering van de CO₂-prestatieladder is de ambitie voor beheersing van de grootste emissieveroorzakers in de organisatie binnen het bedrijf ontstaan. Vanuit onze lijfspreuk “de wereld mooier maken” creëren we meerwaarde voor onze opdrachtgevers, medewerkers en partners door het samenbrengen van mensen, kennis en middelen tijdens alle stadia van de projectketen met als doel; duurzame projecten te realiseren die toekomstgericht zijn met een maatschappelijke meerwaarde. Oftewel, duurzaam ondernemen (van Drunen, 2022).”

De implementatie van duurzaam ondernemen begint met het vaststellen van de CO₂-voetafdruk van een organisatie, product, of dienst. De categorisatie in de drie scopes is afgeleid van het Green House Gas Protocol (GHG-P), de internationale standaard voor het kwantificeren van broeikasgasemissies. Scope 1 verwijst naar de directe CO₂-uitstoot die voortkomt uit interne bronnen binnen het bedrijf. Binnen scope 2 vallen de indirecte CO₂-emissies, welke ontstaan door de productie van elektriciteit, warmte, koeling en stroom in faciliteiten die niet tot het eigen bedrijf behoren maar wel door het bedrijf worden benut (Groenbalans, 2021).

De uitstoot die voortkomt uit de activiteiten van een bedrijf en afkomstig zijn van bronnen die niet in eigendom zijn van of beheerd worden door het bedrijf, vallen onder scope 3. Dit verwijst naar de uitstoot waarop het bedrijf geen directe beïnvloeding kan uitoefenen, zoals emissies die vrijkomen bij de productie van ingekochte goederen of bij het verwerken van afval (Groenbalans, 2021).

Uit de scope 3 analyse van Van der Ven zijn de volgende (grootste) uitstoters gekomen: (Zondag, 2022)

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 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 |

Hieruit blijkt dat beton ver boven de productcategorieën ijzer en staal en elektrische apparatuur uitspringt. Van de totale relevante uitstoot uit scope 3 is ruim 65% afkomstig van beton. De scope-3 analyse is opgenomen in [bijlage 6](#).

Binnen de organisatie is de uitstoot van materieel altijd hoog ingeschat, daarom wordt momenteel binnen Van der Ven, maar ook landelijk veel geïnvesteerd in elektrisch materieel. Uit de scope 1, 2 en 3 analyse blijkt dat totale uitstoot in scope 1 (1084,0 ton) en 2 (114,3 ton) veel lager is dan verwacht, en dat er in de productie en het aanbrengen van beton nog veel valt te verbeteren op het gebied van CO₂-reductie.

Van der Ven heeft gevraagd om te onderzoeken hoe deze hoeveelheid CO₂ tot stand komt op de projecten, middels een analyse van de scope-3 en het opstellen van de ketenanalyse van beton, onderdeel van certificatie voor de CO₂-prestatieladder. Vervolgens moet er onderzocht worden hoe de CO₂-uitstoot van beton gereduceerd kan worden in de keten, inclusief de monitoring hiervan. Dit is nodig om in de toekomst mee te kunnen blijven doen in de markt.

1.3 Probleemdefinitie (probleemstelling)

Uit de scope 3 analyse van Van der Ven blijkt dat de productcategorie beton de grootste CO₂-uitstoter is. De Kwaliteit, Arbo en Milieu (KAM-)afdeling heeft momenteel niet voldoende capaciteit om deze reductiecijfers te onderzoeken, te monitoren en mogelijke verbeteringen te implementeren binnen de projecten om de reductiedoelstellingen op tijd te kunnen behalen.

1.4 Onderzoeksopzet

1.4.1 Hoofd- en deelvragen



Hoe kan de grootste CO₂-uitstoter binnen Aannemingsbedrijf van der Ven: beton, gereduceerd worden, rekening houdend met de markt van de komende 10 jaar² en de praktische haalbaarheid?³

Voor het beantwoorden van de hoofdvraag zijn er acht verschillende deelvragen opgesteld:

1. Hoe komt de huidige scope 3 analyse tot stand?
2. Waaruit bestaat de ketenanalyse van beton?
3. Wat zijn de huidige maatregelen en plannen van Van der Ven en andere bedrijven in de branche op het gebied van de reductie van CO₂-uitstoot van beton?
4. Welke maatregelen kunnen er in de ontwerp- en voorbereidingsfase al worden genomen om de uitstoot van CO₂ door beton te verminderen, en wat zijn de kosten en baten?
5. Hoe kan de CO₂-uitstoot door beton tijdens de uitvoering worden verminderd, en wat zijn de kosten en baten die hierbij horen?
6. Hoe kan de uitstoot van CO₂ door beton geregistreerd en gemonitord worden?
7. Wat is de maximaal haalbare CO₂-reductie van beton en wat is praktisch haalbaar en realistisch voor Van der Ven?
8. Welke stappen dient Van der Ven te nemen en op welke manier moeten onderaannemers en leveranciers gestimuleerd worden om de CO₂-uitstoot van beton te verminderen?

1.4.2 Onderzoeksmethodes

Onderstaand is per deelvraag is de onderzoeksmethode beschreven:

Tabel 2
Onderzoeksmethoden

DV	Onderzoek naar:	Onderzoeksmethode
1	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Het internationale GHG-Protocol; ▶ Het duurzaamheidsinstrument CO₂-prestatieladder; ▶ De huidige berekening en toegepaste methodiek voor de scope 3 analyse van Van der Ven. 	Literatuuronderzoek
	2	<ul style="list-style-type: none"> ▶ De term “ketenanalyse”; ▶ Opgestelde ketenanalyses van beton voor de CO₂-prestatieladder; ▶ Onderzoeken van de CE Delft over de verduurzaming van beton; ▶ Boek “basiskennis beton” (Braam, Lagendijk, Soen, & Linssen, 2015);	Literatuuronderzoek
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Projectbezoeken tijdens de voorbereidingen en het storten van beton; ▶ Locatiebezoeken inclusief het afnemen van interviews bij (prefab) betonleveranciers en andere betrokkenen in de keten. 		Fieldresearch

² Met de markt van de komende 10 jaar wordt bedoelt: het geheel van vraag en aanbod naar een bepaald product of dienst, rekening houdende met de huidige kennis en beschikbare technologische innovaties in de komende 10 jaar

³ Praktische haalbaarheid: rekening houdend met het nemen van reductiemaatregelen die praktisch uitvoerbaar zijn binnen (projecten van) Van der Ven

DV Onderzoek naar:		Onderzoeksmethode
3	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Bedrijfsdoelstellingen en reeds genomen maatregelen in het kader van CO₂-reductie van beton binnen Van der Ven; ▶ CO₂-reducerende maatregelen in de branche, zoals bouwmethodes; 	Deskresearch
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Interviews over de toekomstplannen van Van der Ven op het gebied van CO₂-reductie van beton om de doelen en reeds genomen stappen in het kader van CO₂-reductie inzichtelijk te krijgen; ▶ Interviews om doelstellingen en huidige maatregelen bij ketenpartners, zoals onderaannemers en leveranciers, te achterhalen. 	Fieldresearch
DV Onderzoek naar:		Onderzoeksmethode
4 & 5	<ul style="list-style-type: none"> ▶ De CO₂-roadmap van het Betonakkoord; ▶ Wetenschappelijke artikelen en artikelen van andere bedrijven in de bouwsector naar oplossingen voor in de voorbereiding en de uitvoering van een project om de emissie te verminderen ; 	Deskresearch
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Locatiebezoeken in combinatie met interviews bij ketenpartners naar maatregelen in de voorbereiding en de uitvoering van een project om de uitstoot van CO₂ van beton te verminderen; 	Fieldresearch
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Afwegen en definiëren welke maatregelen er geïmplementeerd kunnen worden met een Multi Criteria Analyse (MCA); ▶ Opstellen van een implementatieplan (beroepsproduct) voor het implementeren van de maatregelen in de processen van Van der Ven; ▶ Berekenen van de total cost of ownership (kosten- batenanalyse) van de verschillende gekozen maatregelen. 	Toegepast onderzoek
DV Onderzoek naar:		Onderzoeksmethode
6	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mogelijkheden voor registratie en monitoren van emissie; 	Deskresearch
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ De wijze van registratie en monitoring van emissie door andere bedrijven en leveranciers (locatiebezoeken en interviews); 	Fieldresearch
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Afwegen en definiëren welke mogelijkheden voor Van der Ven interessant zouden zijn; ▶ Ontwikkelen van een monitoringstool inclusief de implementatie hiervan (beroepsproduct). 	Toegepast onderzoek
DV Onderzoek naar:		Onderzoeksmethode
7	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Interviews met koplopers in CO₂-reductie en innovaties voor beton naar de maximaal haalbare CO₂-reductie van beton; 	Fieldresearch
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ De praktische haalbare en realistische CO₂-reductie van beton door Van der Ven. 	Toegepast onderzoek
DV Onderzoek naar:		Onderzoeksmethode
8	<p>Opstellen van conclusies naar aanleiding van het implementatieplan met de onderstaande adviezen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Advies geven over de manier waarop Van der Ven de CO₂-uitstoot van beton in de toekomst kan reduceren; ▶ Advies geven over de nodige aanpassingen in het bedrijf voor het realiseren van CO₂-reductie van beton; ▶ Advies geven over de omgang met onderaannemers en leveranciers voor de stimulatie om mee te werken aan de CO₂-reductie van beton. 	Toegepast onderzoek

1.4.3 Onderbouwing onderzoeksmethoden

Voor dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van vier onderzoeksmethoden: literatuuronderzoek, deskresearch, fieldresearch en toegepast onderzoek.

Voor de beantwoording van de deelvragen 1 en 2 is er gekozen voor literatuuronderzoek. Dit heeft verschillende redenen, ten eerste is het doel van deze (onderdelen van de) deelvragen het in kaart brengen van de huidige situatie. Hierover is veel te vinden in literatuur, zoals in de rapporten van de CE Delft over de verduurzaming van beton, het boek: "Basiskennis Beton" en de reeds opgestelde ketenanalyses van beton. Ten tweede is er literatuuronderzoek benodigd om te onderzoeken hoe de huidige berekening en toegepaste methodiek van de scope 3 analyse tot stand is gekomen.

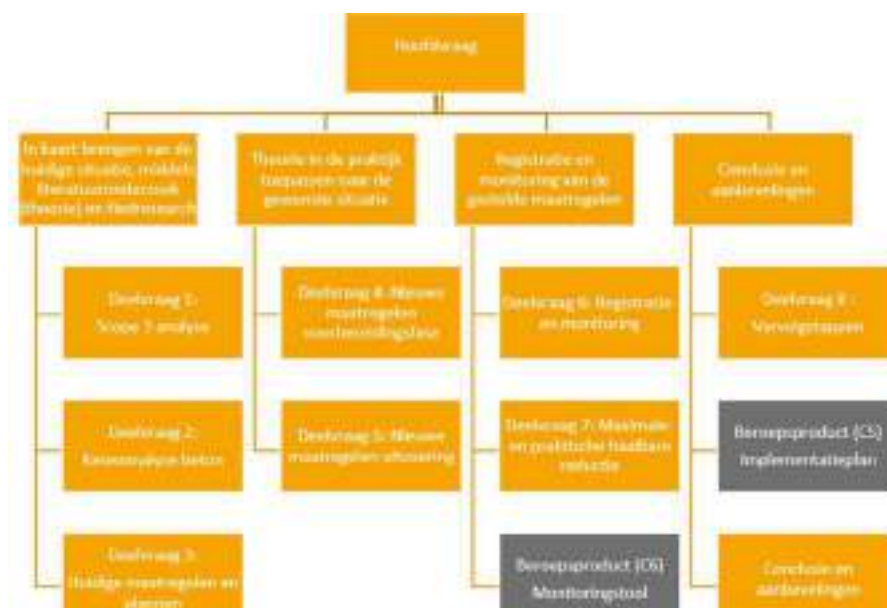
Voor de beantwoording van de deelvragen 3 tot en met 6 is er onder andere gekozen voor deskresearch, om diverse redenen. Ten eerste wordt in deelvraag 3 gebruikgemaakt van interne bedrijfsgegevens. Daarnaast dient het deskresearch als een voorbereiding en aanvulling op het fieldresearch dat in deze deelvragen wordt uitgevoerd. Een bijkomende overweging is dat veel literatuuronderzoek met betrekking tot CO₂-reducerende maatregelen verouderd is, terwijl innovaties voor het nemen van maatregelen continu vernieuwen. Hierdoor biedt deskresearch de mogelijkheid om meer actuele informatie te verzamelen.

Voor de beantwoording van de deelvragen 2 tot en met 7 is er ook gekozen voor fieldresearch. Dit onderzoek is nodig om te kunnen beoordelen of de theorie ook in de praktijk te brengen is, en daarnaast waardevol voor het implementeren van de maatregelen in samenwerking met de leveranciers van Van der Ven. Voor de locatiebezoeken is een gestandaardiseerd formulier opgesteld om bij elk bedrijfsbezoek dezelfde informatie te verzamelen met betrekking tot deze deelvragen.

Als laatste is er gekozen voor toegepast onderzoek, deze methode heeft voornamelijk betrekking op de deelvragen 4 tot en met 8. Deze onderzoeksmethode is van essentieel belang om conclusies te trekken en aanbevelingen te formuleren die direct praktisch toepasbaar zijn voor Van der Ven.

1.4.4 Onderzoeksozet

In de onderstaande afbeelding is de onderzoeksozet weergegeven:



Figuur 2: Onderzoeksozet

1.5 Scope

Om het onderzoek relevant te houden voor Van der Ven en daarbij de persoonlijke leerdoelen te behalen is het van belang een juiste afbakening van het onderzoek vast te stellen. De zaken die binnen de scope van het project vallen zijn als volgt:

- ▶ Enkel de emissie van CO₂, dus niet: stikstof (NO_x) en fijnstof (PM);
- ▶ De emissie die wordt veroorzaakt door de realisatie van projecten;
- ▶ Enkel de CO₂-uitstoot die vrijkomt bij de ketenanalyse van beton, van grondstoffenwinning tot en met afvalverwerking / hergebruik (zie figuur 3) (TOTEM, 2021);



Figuur 3: Life Cycle Analyse van beton (scope)

Overgenomen uit: TOTEM voorschrijven in overheidsopdrachten (p. 8) door TOTEM, 2021. Geraadpleegd op 4 september 2023, van (<https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/44218>). Copyright 2021, TOTEM.

1.6 Praktische relevantie

De doelstelling van Van der Ven is om in 2030 een vermindering van 20% CO₂-uitstoot in de betonketen te realiseren, per bestede euro ten opzichte van 2024 (zie hoofdstuk 1.7). Ondanks dat Van der Ven bereidwillig is om deze doelstelling te halen, is er momenteel onvoldoende capaciteit op de KAM-afdeling om de resultaten van de scope 3 analyse te onderzoeken, te monitoren en mogelijk verbeteringen te implementeren binnen de projecten om deze reductiedoelstelling op tijd te kunnen behalen.

Daarnaast is het van belang dat er een omslag plaatsvindt in de standaardisatie van de werkzaamheden en de werkmethoden, in zowel de ontwerp- en voorbereidingsfase als in de uitvoeringsfase van een project om deze doelstelling te realiseren. Hier is momenteel nog weinig inzicht in. In dit onderzoek is onderzocht welke transitie er moet plaatsvinden om het bedrijf toekomstbestendig te ontwikkelen om voorop te kunnen blijven lopen in de markt.

Met deze ontwikkelingen kan Van der Ven tevens een bijdrage leveren aan de wereldwijde Sustainable Development Goals (SDG's). Deze duurzame ontwikkelingsdoelen zijn door de Verenigde Naties (VN) opgesteld en zijn in 2015 aangenomen door alle VN-lidstaten, waaronder Nederland (Verenigde Naties, sd)..

Met het behalen van de reductiedoelstelling kan Van der Ven bijdragen aan de volgende SDG's (Verenigde Naties, sd) (SDG Nederland, sd):



SDG 3: Goede gezondheid en welzijn

Doel: Terugdringen van lucht, water en bodemverontreiniging. (target 3.9)
Het verminderen van de uitstoot van CO₂ resulteert in het terugdringen van lucht, water en bodemverontreiniging waar een beter welzijn van de burgers uit voortvloeit.



SDG 7: Betaalbare en schone energie

Doel: Verzekeren toegang tot betaalbare, betrouwbare, duurzame en moderne energie voor iedereen.
Met het doel om de CO₂-uitstoot te reduceren gaat Van der Ven aan de slag om het gebruik van fossiele energie terug te dringen en het gebruik van hernieuwbare energie te vergroten.



SDG 9: Industrie, innovatie en infrastructuur

Doel: Bouw een veerkrachtige infrastructuur, bevorder inclusieve en duurzame industrialisatie en stimuleer innovatie.
Het moderniseren van de infrastructuur om deze tegen 2030 duurzaam te maken waarbij de focus ligt op het gebruik van schonere en milieuvriendelijke technologieën en de stimulatie van innovatie.



SDG 12: Verantwoorde consumptie en productie

Doel: Zorgen voor duurzame consumptie- en productiepatronen.
Van der Ven gaat aan de slag met duurzame productie en consumptie met efficiënt gebruik van grondstoffen, welke de druk op het milieu vermindert en de afhankelijkheid van deze grondstoffen om de CO₂-uitstoot te kunnen reduceren.



SDG 13: Klimaatactie

Doel: Neem dringend actie om de klimaatverandering en de gevolgen ervan te bestrijden.
Verminderen van de nadelige effecten van de klimaatverandering, voorkomend uit het broeikas effect door de vermindering van de CO₂-uitstoot.



SDG 17: Partnerschap om doelstellingen te bereiken

Doel: Versterk de implementatiemiddelen en revitaliseer het wereldwijd partnerschap voor duurzame ontwikkeling.
Door samen te werken met de gehele keten kan Van der Ven zijn doelstellingen op het gebied van duurzaamheid bereiken.

Figuur 4a t/m 4f: Sustainable Development Goals 3, 7, 9, 12, 13 en 17

Overgenomen uit: Dit zijn de Sustainable Development Goals door SDG Nederland, sd,. Geraadpleegd op 4 september 2023, van (<https://www.sdgnederland.nl/de-17-sdgs/>). Copyright SDG Nederland.

1.7 Doelstelling

De huidige reductiedoelstelling scope 3 van Van der Ven luidt als volgt:

“Verlagen van de CO₂-uitstoot met 3% van de meest materiële scope 3 emissie, te weten dieselverbruik door onderaannemers op onze projecten, per bestede € in 2023 ten opzichte van 2020”

Nu blijkt dat de emissie uit de betonketen het grootste is, is er in samenspraak met de afdeling KAM een nieuwe doelstelling met betrekking op dit afstudeeronderzoek opgesteld:



“Het realiseren van een vermindering van de CO₂-uitstoot in de betonketen met 20%, per bestede € in 2030 ten opzichte van 2024, met de ambitie naar 40% reductie”

1.7.1 Haalbaarheid

In het klimaatakkoord voor 2030 (Bouwend Nederland, sd) is een algemene reductiedoelstelling van 49% reductie van de CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990 vastgelegd. Het Betonakkoord uit 2018 bevat afspraken over een vermindering van de uitstoot in de betonketen in 2030 met minimaal 30% ten opzichte van 1990 (Bouwtotaal, sd). In de periode 1990 – 2017 is er, wanneer het betongebruik aan elkaar gelijkgesteld wordt 13% CO₂ gereduceerd in de betonketen (van Gent, 2021). Met de huidige kennis en beschikbare technologieën, lijkt een reductie van 20% in zes jaar een haalbare reductiedoelstelling, met de ambitie naar 40% reductie. De verklaring hiervoor is dat de CO₂-uitstoot in de betonketen van Van der Ven voor het eerst in 2024 nauwkeuring gemeten gaat worden aan de hand van een nulmeting, zonder reductiemaatregelen. In dit onderzoek zal daarom ook worden onderzocht wat de maximaal haalbare CO₂-reductie is. Als laatste wilt Van der Ven meegaan met de huidige wet- en regelgeving zoals die van het klimaatakkoord en het Betonakkoord.

1.7.2 Resultaatverwachting

Met het onderzoek moet duidelijk worden welke mogelijkheden er zijn voor Van der Ven om de uitstoot van CO₂ bij betonwerk te kunnen reduceren. Hierbij wordt er gekeken naar de gehele keten van beton, van grondstofwinning tot en met afvalverwerking.

Uit het onderzoek vloeit een adviesrapport waarin als hoofddoel is uitgewerkt hoe Van der Ven in de toekomst de CO₂-uitstoot van beton kan reduceren in elke fase van de betonketen. Voor implementatie van de CO₂-reducerende maatregelen op diverse projecten van Van der Ven waarin betonwerk aanwezig is, zal voor zowel de voorbereidingsfase als de uitvoeringsfase een implementatieplan worden opgesteld (beroepsproduct). Daarnaast zal er een registratie- en monitoringstool (beroepsproduct) worden opgesteld voor het registreren en monitoren van de geïmplementeerde maatregelen in de toekomst. Uiteindelijk wordt er met de verkregen kennis een conclusie en aanbeveling opgesteld over hoe Van der Ven in de toekomst hun grootste CO₂-uitstoter, beton, kan reduceren.

1.8 Leeswijzer

Het onderzoek is opgedeeld in acht deelvragen (DV) en zeven hoofdstukken, volgens de vier thema's in de onderzoeksopzet, weergegeven in figuur 2:

- ▶ In kaart brengen van de huidige situatie, middels literatuuronderzoek (theorie) (DV 1 t/m 3):
 - **Hoofdstuk 3:** Totstandkoming scope-3 analyse (DV 1);
 - **Hoofdstuk 4:** De ketenanalyse van beton (DV 2);
 - **Hoofdstuk 5:** Huidige maatregelen en plannen (DV 3);

- ▶ Theorie in de praktijk toepassen naar de gewenste situatie (DV 4 en 5):
 - **Hoofdstuk 6:** Inventarisatie maatregelen (DV 4 en 5);
 - **Hoofdstuk 7:** Implementatie (DV 4 en 5);

- ▶ Registratie en monitoring van de gestelde maatregelen (DV 6 en 7):
 - **Hoofdstuk 8:** Registratie en monitoring (DV 6 en 7);
 - **Beroepsproduct:** Monitoringstool (C6);

- ▶ Conclusie en aanbevelingen (DV 8):
 - **Hoofdstuk 9:** Vervolgstappen (DV 8);
 - **Beroepsproduct:** Implementatieplan (C5);
 - **Hoofdstuk 10 & 11:** Conclusie en aanbevelingen.

In hoofdstuk 2 is het theoretisch kader uiteengezet. In de hoofdstukken 3 t/m 9 is per hoofdstuk een deelvraag uitgewerkt. In de hoofdstukken 10 t/m 12 is de conclusie, de aanbevelingen en de discussie opgenomen.

2. Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zijn de relevante begrippen, definities, modellen en theorieën beschreven die van toepassing zijn op het onderzoek. Als eerste wordt de CO₂-emissiereductiestrategie, de Plan-Do-Check-Act-cyclus (PDCA) en de aspecten Geld, Risico, Organisatie, Tijd, Informatie en Kwaliteit (GROTIK) beschreven. Vervolgens worden de belangrijke en relevante begrippen en definities benoemd met betrekking tot de deelvragen.

2.1 Modellen en theorieën

2.1.1 CO₂-emissiereductiestrategie

Dit onderzoek is opgebouwd vanuit de CO₂-emissiereductiestrategie. De CO₂-emissiereductiestrategie heeft als doel om de CO₂-uitstoot te reduceren door het energieverbruik: (ATKB, sd)

- ▶ **Te verminderen:** maatregelen nemen die gericht zijn op het voorkomen van het energieverbruik;
- ▶ **Te verduurzamen:** maatregelen nemen die gericht zijn op het zoveel mogelijk gebruiken van duurzaam opgewekte energie en brandstoffen;
- ▶ **Te veranderen:** maatregelen nemen die gericht zijn op het zo efficiënt mogelijk voorzien van de resterende energiebehoefte.

Van der Ven streeft naar een CO₂-emissiereductiedoelstelling voor scope 3 in de betonketen, ten opzichte van het jaar 2024, van 20% in 2030. In figuur 5 is de CO₂-emissiereductiestrategie opgenomen. (ATKB, sd)



Figuur 5: CO₂-emissiereductiestrategie
Aangepast overgenomen uit: CO₂-voetafdruk door P. Feenstra, sd. Geraadpleegd op 28 augustus 2023, van (<https://www.at-kb.nl/co2-prestatieladder>). Copyright ABKT.

2.1.2 PDCA-cyclus

Het laddersysteem van de CO₂-prestatieladder volgt de principes van een managementsysteem en heeft als hoofddoel voortdurende verbetering. Dit impliceert dat er binnen de organisatie voortdurende, cyclische processen moeten zijn die zich richten op het verbeteren van zowel de CO₂-prestaties als het managementsysteem. Dit staat ook bekend als de PDCA-cyclus (CO₂-prestatieladder, 2020). Ook dit onderzoek is gebaseerd op deze PDCA-cyclus. Hoofdstuk 1 van dit onderzoek en de deelvragen 1 t/m 3 vallen onder PLAN: het in kaart brengen van de huidige situatie, en het vastleggen van doelstellingen, maatregelen en planning. Deelvraag 4 en 5 vallen onder DO: het implementeren van het plan. Deelvraag 6

valt onder CHECK: het monitoren van de gestelde maatregelen. Deelvraag 6, 8 en het hoofdstuk “Conclusie en aanbevelingen” vallen onder ACT: bijsturen op basis van voortgang en eventueel aanpassingen doorvoeren. In figuur 6 is de PDCA-cyclus weergegeven (CO₂-prestatieladder, 2020):



Figuur 6: PDCA-cyclus
Aangepast overgenomen uit: Handboek CO₂-prestatieladder 3.1 (p. 40) door SKAO, 2020. Geraadpleegd op 28 augustus 2023, van (<https://www.co2-prestatieladder.nl/nl/handboek>). Copyright 2020, SKAO.

In dit onderzoek zal een combinatie van de PDCA-cyclus en de CO₂-emissiereductiestrategie worden toegepast. De CO₂-emissiereductiestrategie is een model welke wordt toegepast in de DO fase van de PDCA cyclus. In de Maatregellijst, te vinden in **bijlageboekje 3**, zijn het Bouwwaarde Model, de R-ladder (ook bekend als de ladder van Lansink) en de Technology Readiness Levels (TRL-niveaus) specifiek opgenomen als modellen voor dat document.

2.1.3 GROTIK aspecten

Dit onderzoek maakt eveneens gebruik van de GROTIK-methode, een benadering die gericht is op het beheersen van de aspecten Geld, Risico's, Organisatie, Tijd, Informatie en Kwaliteit (Weerdenburg Huisvesting Consultants B.V., 2017). Deze methode zal worden toegepast in het implementatieplan en wordt kort toegelicht, inclusief de hulpmiddelen die hierbij gebruikt kunnen worden. In figuur 7 zijn de GROTIK aspecten weergegeven (KPI-projecten).

- ▶ **Geld:** de financiële middelen die zijn vereist voor realisatie van een project, bijvoorbeeld middels een kostenanalyse;
- ▶ **Risico:** inzicht in de risico's en de beheerbaarheid ervan, bijvoorbeeld middels een risicoanalyse;
- ▶ **Organisatie:** de benodigde personen, bedrijven en partijen, zowel intern als extern voor de uitvoering van de activiteiten voor een project, bijvoorbeeld middels een organisatieschema;
- ▶ **Tijd:** de benodigde tijd voor de uitvoering van een project, bijvoorbeeld middels een planning;
- ▶ **Informatie:** de informatie die benodigd is voor de uitvoering van het project, bijvoorbeeld middels



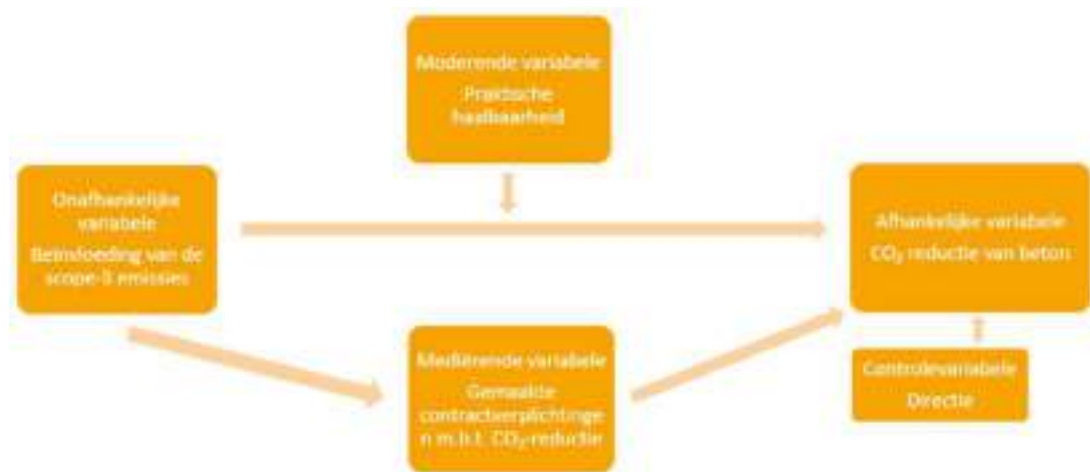
Figuur 7: GROTIK aspecten
Aangepast overgenomen uit: Projectmanagement door KPI projecten, sd. Geraadpleegd op 15 december 2023, van (<https://www.kpiprojecten.nl/project-management/>) Copyright KPI Projecten.

een communicatieplan;

- **Kwaliteit:** de kwaliteitsaspecten en waarborging die nodig is om het project succesvol te laten verlopen, bijvoorbeeld middels een programma van eisen of een evaluatie.

2.2 Conceptueel model

In de onderstaande figuur in het conceptueel model weergegeven. Dit is een visuele weergave van de verbanden die tussen de variabelen worden verwacht.



Figuur 8: Conceptueel model

De CO₂-reductie van beton (afhankelijke variabele) is afhankelijk van de beïnvloeding van de scope 3 emissies (onafhankelijke variabele). De moderende variabele, de praktische haalbaarheid, kan van invloed zijn op het effect tussen de onafhankelijke en afhankelijke variabele. De mediërende variabele, gemaakte contractverplichtingen met betrekking tot CO₂-reductie, heeft zowel invloed op de onafhankelijke als de afhankelijke variabele. Als laatste kan de controlevariabele mogelijk invloed hebben op de resultaten.

2.3 Begripsdefinities

2.3.1 Beton

Beton is een bouw materiaal en bestaat uit verschillende componenten, waaronder cement, toeslagmaterialen zoals zand en grind, water, en eventuele hulpstoffen, elk met een specifieke functie. Cement, het voornaamste bestanddeel, fungeert als het bindmiddel in beton. Doorgaans wordt cement geproduceerd uit Portlandklinker (CEM I). In Nederland wordt echter veelvuldig gebruik gemaakt van cementtypen waarin de Portlandklinker, die CO₂-intensief is, door alternatieve materialen (CEM II, IV en V) of het bijproduct hoogovenslak (CEM III) is vervangen. Omdat aan het bijproduct hoogovenslak (bijna) geen CO₂ wordt toegekend en het tot 80% Portlandcement kan vervangen, is hoogovencement een zeer duurzaam alternatief (CE Delft, 2013).

De samenstelling van beton varieert ook afhankelijk van de toepassing, zoals vloeren, funderingen of betontegels, waar specifieke eisen gelden. Het cementgehalte, het type cement en de hoeveelheid en het type toeslagmiddelen variëren op basis van deze eisen en mogelijkheden (CE Delft, 2013).

In de bouw maakt men zowel gebruik van betonmortel als geprefabriceerde betonproducten, waarbij wel of geen wapening kan worden toegepast. Betonmortel wordt met behulp van betonmixers naar de bouwplaats getransporteerd en daar direct verwerkt. De betonproducten worden in een fabriek geproduceerd en daarna

naar de bouwplaats getransporteerd. Hier wordt de constructie opgebouwd met behulp van deze producten. Beton vindt toepassing in diverse sectoren, zoals in de woningbouw, utiliteitsbouw en de Grond- Weg en Waterbouw (GWW). Beton heeft weinig onderhoud nodig gedurende de gebruiksperiode, de gebruiksperiode van een bouwwerk levert echter wel emissies op, voornamelijk door energiegebruik (gebouwen) en verkeer op de bouwwerken in de GWW-sector (CE Delft, 2013).

Bij het afbreken van een bouwwerk na gebruik ontstaat betongranulaat en gebruikte wapening (in de vorm van staal). Deze materialen worden hergebruikt; zo wordt het wapeningsstaal opnieuw gesmolten tot staal. Het betongranulaat wordt grotendeels toegepast als wegfundatie en steeds vaker ingezet in nieuw beton als vervanging voor grind. In een experimenteel stadium wordt betongranulaat gemalen, zodat het over voldoende bindcapaciteit beschikt om in nieuw beton een gedeelte van het cement te vervangen (CE Delft, 2013).

2.3.2 Broeikasgassen – Het (versterkte) broeikas effect

Broeikasgassen zoals koolstofdioxide (CO₂) en distikstofoxide (N₂O) komen van nature voor in de atmosfeer en houden warmte van de zon vast. Hierdoor heeft de aarde een leefbare temperatuur. Door toe doen van menselijk handelen neemt de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer toe, dit versterkt het broeikas effect en leidt tot een warmer klimaat (knmi, sd). In de onderstaande afbeelding (Kushwah, 2023) is weergegeven hoe het broeikas effect wordt versterkt door menselijk handelen, mede door de bouw en infra sector. Dit onderzoek concentreert zich op het broeikasgas koolstofdioxide en wordt daarom verder toelicht.



Figuur 9: Versterking van het broeikas effect door menselijk handelen
 Aangepast overgenomen uit Carbon Emission & BIM 1.0 door T. Kushwah, 2023. Geraadpleegd op 6 september 2023, van (<https://www.linkedin.com/pulse/carbon-emission-bim-10-tanmay-kushwah/>) Copyright T. Kushwah.

2.3.3 CO₂ – Koolstofdioxide

CO₂, oftewel koolstofdioxide is een gas zonder kleur en geur, dat gevormd wordt door een verbinding tussen koolstof (C) en zuurstof (O₂). Van nature is het aanwezig in de atmosfeer van de aarde (Energievergelijk, sd). De volgende begrippen kunnen over CO₂ onderscheiden en gedefinieerd worden:

- ▶ **CO₂-uitstoot:** wanneer CO₂ als gevolg van menselijke activiteiten in de atmosfeer belandt (Energievergelijk, sd);
- ▶ **Emissie:** de hoeveelheid verontreinigende stoffen die afkomstig is van de bron. Emissie wordt gemeten in een concentratie (in mg/m³) of in een lading (kg/uur) (Iplo, sd);
- ▶ **Emissieloos:** (maken van werk) zonder uitstoot van schadelijke stoffen (CO₂, NO_x en PM) (KWS, sd);
- ▶ **CO₂-reductie:** wanneer de CO₂-uitstoot wordt teruggebracht tot een lager peil of aantal (Encyclo, sd);
- ▶ **CO₂-footprint:** de bepaling van de totale emissie van broeikasgassen door een bedrijf (ook: CO₂-voetafdruk) (Climate Neutral Group, sd).

In **bijlage 2** is de jaarlijkse uitstoot van CO₂ wereldwijd weergegeven van 1940 t/m 2022 in miljard ton (Statista, 2022), evenals de uitstoot van broeikasgassen per klimaatakkoordsector gedurende het eerste kwartaal in 2023 van Nederland (Centraal bureau voor de statistiek, 2023).

Uit de grafiek blijkt dat de uitstoot van broeikasgassen in Nederland, met name afkomstig van de gebouwde omgeving en de industrie, lager is dan in voorgaande jaren. De bijdrage aan broeikasgassen per klimaatakkoordsector bedroeg in het eerste kwartaal van 2023 voor de gebouwde omgeving ongeveer 20% (Centraal bureau voor de statistiek, 2023).

2.3.4 De CO₂-prestatieladder

“De CO₂-prestatieladder is het duurzaamheidsinstrument van Nederland”, en ondersteunt bedrijven en overheden bij het verminderen van zowel CO₂-uitstoot als kosten in hun bedrijfsvoering, projecten en de gehele keten. De CO₂-prestatieladder is een CO₂-managementsysteem met 5 niveaus. Tot en met niveau 3 richt een organisatie zich op de uitstoot van de eigen activiteiten (en de projecten). Vanaf niveau 4 en 5 wordt er ook gewerkt aan het verminderen van de CO₂-uitstoot in de keten en sector (CO₂-prestatieladder, 2020).

Een organisatie die gecertificeerd is, voldoet op een specifiek niveau (en de onderliggende niveaus) aan de criteria van de CO₂-prestatieladder. Deze criteria zijn afkomstig van vier verschillende perspectieven: (CO₂-prestatieladder, 2020)

- ▶ A – Inzicht: identificatie van de energiestromen en de CO₂-voetafdruk;
- ▶ B – Reductie: het stellen van ambitieuze doelen met betrekking tot CO₂-reductie;
- ▶ C – Transparantie: consistente communicatie over het CO₂-beleid;
- ▶ D – Participatie: deelname aan initiatieven in de sector met betrekking tot CO₂-reductie.

Jaarlijks ondergaat elke gecertificeerde organisatie een audit uitgevoerd door een onafhankelijk en geaccrediteerd certificeringsorgaan. Aannemingsbedrijf Van der Ven voldoet aan niveau 5 van de CO₂-prestatieladder (CO₂-prestatieladder, 2020).

2.3.5 De ketenanalyse

Organisaties die gecertificeerd zijn op niveau 4 en 5 zijn verplicht om één of twee ketenanalyses uit te voeren. In een ketenanalyse wordt een bedrijfsproces beschouwd, gericht om de CO₂-uitstoot in het proces in beeld te brengen. Een ketenanalyse richt zich op de waardeketen van een bedrijf, van de aankoop van grondstoffen tot en met de afvalverwerking aan het einde van de levensduur van het geleverde product. Naast het streven naar CO₂-reductie biedt de ketenanalyse ook ideeën voor duurzame innovaties en praktische richtlijnen om de keten efficiënter te organiseren (CO₂-prestatieladder, 2011).

3. Totstandkoming van de scope 3 analyse

In het eerste hoofdstuk van dit rapport wordt de scope 3 analyse verder behandeld, met de deelvraag: "Hoe wordt de huidige scope 3 analyse tot stand gebracht?". Dit hoofdstuk begint met een onderzoek naar de definitie en inhoud van een scope 3 analyse. Vervolgens wordt de scope 3 analyse van Van der Ven geanalyseerd. Dit hoofdstuk is hoort bij de "Plan fase" van de PDCA-cyclus, waarbij de (toelichting van de) scope 3 analyse de nulmeting is voor het uiteindelijke proces en de procedures.

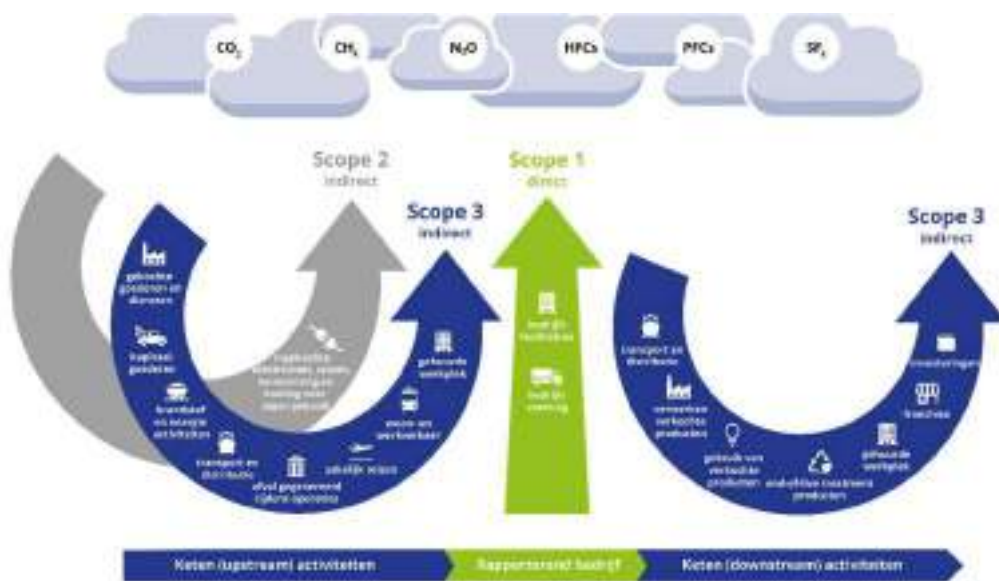
3.1 Scope-3 analyse

3.1.1 Omschrijving Scope-3

Duurzaam ondernemen begint met het vaststellen van de CO₂-voetafdruk. Dit is een berekening van de totale uitstoot van broeikasgassen van een bedrijf, product of dienst. De categorisatie in de drie scopes is afgeleid van het Green House Gas Protocol (GHG-P), de internationale standaard voor het kwantificeren van broeikasgasemissies. Bij het samenstellen van de CO₂-voetafdruk is het belangrijk om rekening te houden met de afbakening en de grenzen die een bedrijf hanteert in de berekening. De splitsing in de drie scopes is als volgt (Groenbalans, 2021):

- ▶ **Scope 1:** directe CO₂-uitstoot, afkomstig van interne bronnen binnen het bedrijf;
- ▶ **Scope 2:** indirecte CO₂-uitstoot, veroorzaakt door de productie van elektriciteit, warmte, koeling en stroom in faciliteiten die niet tot het eigen bedrijf behoren maar wel door het bedrijf worden benut;
- ▶ **Scope 3:** overige indirecte CO₂-uitstoot, voortkomend uit de activiteiten van het bedrijf die afkomstig zijn van bronnen die niet in eigendom zijn van of beheerd worden door het bedrijf en waarop het bedrijf geen directe invloed kan uitoefenen.

In figuur 10 is een overzicht weergegeven van de scopes en emissies in de waardeketen conform het GHG-protocol. (Schouten energy, sd)



Figuur 10: Overzicht van de scopes en emissies in de waardeketen
Overgenomen uit CO₂-footprint /reductie in 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 omvatten alle handelingen die plaatsvinden vóór de levering van het product. Downstream activiteiten betreffen alle handelingen die plaatsvinden nadat het product is afgeleverd.

3.1.2 Berekenen scope 3 emissies

Voor het berekenen van de scope 3 emissies zijn er drie methoden, gebaseerd op activiteiten, productie en uitgaven: (Fominova S. , sd)

1. **Activiteiten:** de op activiteiten gebaseerde gegevens en emissiefactoren omvatten de specifieke activiteiten in de waardeketen, zoals transport, distributie en afvalwerking. Deze factoren houden rekening met emissies van zowel interne als externe activiteiten, waardoor ze zeer uitgebreid en nauwkeurig zijn;
2. **Productie:** de op productie gebaseerde emissiefactoren hebben een beperkte dekking van de emissies in de waardeketen, omdat ze zich primair richten op de emissies die tijdens de productie worden gegenereerd, en niet op de gehele keten;
3. **Uitgaven:** de op uitgaven gebaseerde emissiefactoren wijzen emissies toe op basis van de financiële waarde van de uitgaven. Deze methode geeft geen beeld van de volledige omvang van de uitstoot van de waardeketen weer.

In **bijlage 3** zijn een tweetal tabellen opgenomen. Ten eerste een vergelijkende tabel, met: op activiteiten gebaseerde versus op productie gebaseerde versus op uitgaven gebaseerde emissiefactoren. Ten tweede een tabel met factoren waarmee rekening moet worden gehouden bij het kiezen van een emissieberekeningsmethode.

3.1.3 Wet- en regelgeving

Om CO₂-emissies te kunnen garanderen, zijn er verschillende standaarden en richtlijnen ontwikkeld voor consistentie en nauwkeurigheid bij het meten en rapporteren. Deze richtlijnen bieden kaders en methodieken voor het berekenen van emissies, inclusief het gebruik van emissiefactoren. Twee van de meest gebruikte internationale normen en richtlijnen met betrekking tot emissiefactoren zijn het Greenhouse Gas Protocol en de IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: (Fominova, sd)

- ▶ **Broeikasgasprotocol (GHG-Protocol):** 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" en beveelt aan om op activiteit gebaseerde en productie gebaseerde emissiefactoren te gebruiken voor het berekenen van scope 1 en 2. Voor scope 3 adviseert de organisatie om een combinatie van op activiteiten- en productie gebaseerde emissiefactoren te gebruiken;
- ▶ **IPCC-richtlijnen voor nationale broeikasgasinventarissen:** Het Intergouvernementeel Panel voor Klimaatverandering (IPCC) heeft een reeks richtlijnen opgesteld waarmee landen hun nationale broeikasgasemissie kunnen schatten en rapporteren. De IPCC-richtlijnen voor nationale broeikasgasinventarissen bieden methodes, standaard emissiefactoren en andere relevante informatie voor elke sector die bijdraagt aan de CO₂-uitstoot. De methoden variëren van het gebruik van eenvoudige standaardemissiefactoren (tier 1) tot meer complexe land specifieke factoren en modellen (tier 3). De richtlijnen benadrukken het belang van het kiezen van geschikte emissiefactoren op basis van de context en gegevenskwaliteit.

Volgens het generieke handboek CO₂-Prestatieladder, versie 3.1 (CO₂-prestatieladder, 2020) is het vereist voor een bedrijf om niveau 5 van de CO₂-Prestatieladder te bereiken dat er aantoonbaar inzicht is in de meest significante emissies binnen scope 3. Hierbij hoort eis 4.A.1: "De organisatie heeft aantoonbaar inzicht in de meest materiële emissies (80%) uit scope 3, en kan uit deze scope 3 emissies tenminste 2 analyses van de GHG-genererende (ketens van) activiteiten voorleggen".

3.2 Scope 3 emissies Van der Ven

3.2.1 Toelichting op de scope 3 analyse van Van der Ven

Om te begrijpen welke emissies in scope 3 voortkomen uit de activiteiten van Van der Ven, maar waarover Van der Ven weinig tot geen invloed heeft, heeft Van der Ven een scope-3 analyse laten opstellen. De scope 3 analyse is opgenomen in [bijlage 6](#). In [bijlageboekje 1](#) is een uitgebreide toelichting van de scope 3 analyse van Van der Ven toegevoegd, waarin de opzet van de tabel, de methodiek en de standaard gegevens uitgebreid staan beschreven.

3.2.2 Resultaten

Uit de scope 3 analyse van Van der Ven komen de volgende (grootste) uitstoters: (Zondag, 2022)

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 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 |

Hieruit blijkt dat beton ver uitstijgt boven de productcategorieën ijzer en staal en elektrische apparatuur. Van de totale relevante uitstoot uit scope 3 is ruim 65% afkomstig van beton.

3.2.3 Discussie

In de scope 3 analyse van Van der Ven is er gerekend met op uitgaven gebaseerde emissiefactoren, volgens de GHG-conversiefactoren van Defra. Dit is een gevalideerde methode om de grootste CO₂-uitstoters van een bedrijf in te schatten. Met deze grootste uitstoters kan een bedrijf aan de slag om de uitstoot van deze diensten en/of producten te reduceren. Daarnaast is het berekenen van de CO₂-uitstoot op basis van uitgaven gebaseerde emissiefactoren relatief eenvoudig te berekenen, en is het geschikt voor bedrijven zonder directe controle op de productie (zie [bijlage 3](#)). Echter zitten er ook een aantal kanttekeningen aan de methode waarbij gebruik wordt gemaakt van de GHG-conversiefactoren van Defra: (persoonlijke communicatie, 4 september 2023)

- ▶ **Actualiteit:** het document waar gebruik van is gemaakt om de GHG-conversiefactoren uit te halen komt uit het jaar 2011. Er zijn geen recentere versies beschikbaar gebaseerd op uitgaven, maar wel voor productie en activiteiten. Er is dus geen rekening gehouden met de inflatie van de afgelopen jaren en met de maatregelen die leveranciers nu al nemen om de CO₂-uitstoot te verminderen;
- ▶ **Regio:** de cijfers zijn gebaseerd op een input-outputmodel van de wereldeconomie met twee verschillende regio's: Groot-Brittannië (UK) en de rest van de wereld. Deze cijfers zijn dus niet helemaal relevant voor Nederland, waar transportafstanden bijvoorbeeld veel kleiner zijn;
- ▶ **Munteenheid:** de GHG-conversiefactor is gebaseerd op kilogram equivalent per pond (kg CO₂e per £). Om deze actueel te maken zou deze omgerekend moeten worden naar kg CO₂ per euro, door er een wisselkoers berekening achter te zetten. Echter verandert dit de kwestie niet, omdat de conversiegetallen evenredig worden omgezet waardoor de uiteindelijke weergave en rangschikking hetzelfde zijn;
- ▶ **Keten:** de GHG-conversiefactoren zijn gebaseerd op de toeleveringsketen, dus tot aan de eind-

producten die door consumenten worden gekocht. Dit is dus een schatting van de totale upstream emissies. De CO₂-uitstoot bij het gebruik, onderhoud en verwijderen (downstream emissies) worden dus niet meegenomen in deze factoren, terwijl deze wel behoren tot de scope van dit onderzoek;

- ▶ **Productgroep:** per crediteur wordt er een codering voor een productgroep toegewezen, waaraan de GHG-conversiefactor gekoppeld is. Echter valt vaak de gehele omzet niet aan één productgroep te koppelen, waardoor er dus mogelijk met een te hoge factor wordt gerekend. Een voorbeeld hiervan is ████████, deze crediteur levert en heit (beton) palen, maar verhuren ook diverse kranen. Het totale omzetbedrag bestaat dus niet uit het leveren en heien van palen, maar ook uit de verhuur van kranen. Desondanks wordt er gerekend met de hoge conversiefactor van beton voor de gehele omzet, terwijl de daadwerkelijke CO₂-uitstoot mogelijk minder zou moeten zijn

3.3 Conclusie

Uit de bovenstaande discussie blijkt dat de methode waarop de scope 3 analyse van Van der Ven is berekend toereikend is om de grootste CO₂-uitstoters van het bedrijf in te schatten, maar niet om een goed beeld te krijgen van de daadwerkelijke CO₂-uitstoot binnen het bedrijf. Daarnaast is het niet duidelijk te achterhalen hoe de GHG-conversiefactoren zijn berekend. Omdat deze berekening niet bekend is, kan er aan deze waarde niet gesleuteld worden om deze in 2030 naar 5 kg CO₂ per £ te halen met het nemen van reductiemaatregelen (reductie van 20% in 2030 = doelstelling). Daarom zal het behalen van de doelstelling op een andere manier aangetoond moeten worden, maar moet er wel gerekend worden met de omzet om een goede vergelijking te kunnen maken met 2024.

Omdat de op uitgaven gebaseerde emissiefactoren geen realistisch beeld geven van de daadwerkelijke CO₂-uitstoot, zal in dit onderzoek verder gerekend worden met de op activiteiten en productie gebaseerde gegevens en emissiefactoren, in kg CO₂ per m³ beton.

De volgende vergelijking is gebruikt bij het berekenen van de CO₂-uitstoot in de scope 3 analyse. (DECC en Defra, 2011)

$$Omzet [€] \cdot conversiefactor[-] = totale\ uitstoot [ton\ CO_2]$$

Hierbij is de omzet en de conversiefactor bekend, en kan de totale uitstoot worden berekend. De omzet is een variabele en de conversiefactor een vast gegeven. Uit de discussie blijkt dat de conversiefactoren van Defra niet valide zijn. Daarom wordt in dit onderzoek de totale CO₂-uitstoot per jaar berekend met behulp van de op activiteiten en op productie gebaseerde gegevens en emissiefactoren. Aan de hand van deze hoeveelheden, en de omzet van 2030 (doelstelling) van het betonwerk, kan er een nieuwe conversiefactor worden berekend. Een factor 5 (in plaats van 6,21) betekent dat er 20% CO₂-uitstoot gereduceerd is door de toepassing van de maatregelen die in dit onderzoek worden beschreven. De vergelijking is dan als volgt:

$$\frac{Totale\ uitstoot [ton\ CO_2]}{(Omzet\ betonwerk [€] \cdot \left(\frac{indexcijfer}{100}\right))} = nieuwe\ conversiefactor[-]$$

Op deze manier is de berekening toch valide, omdat de onzekere factor, de GHG-conversiefactoren van Defra, uit de berekening zijn gehaald. De totale uitstoot wordt nu berekend met gegevens gebaseerd op activiteiten en productie. De nieuwe conversiefactor geeft aan hoeveel er gereduceerd is ten opzichte van 2024, rekening houdend met de indexatie. Hiervoor moet in 2024, de periode van de nulmeting een indexcijfer worden vastgesteld.

4. De ketenanalyse van beton

Om maatregelen te kunnen treffen om de CO₂-uitstoot van beton te reduceren, moet eerst duidelijk zijn waar de keten van beton uit bestaat en in welke fasen er CO₂ wordt uitgestoten. Daarom luidt de tweede deelvraag als volgt: "Waaruit bestaat de ketenanalyse van beton?". Omdat Van der Ven gecertificeerd is op niveau 5 van de CO₂-prestatieladder, is het opstellen van een ketenanalyse van de grootste CO₂-uitstoter een vereiste om het certificaat te behalen. Dit hoofdstuk is hoort bij de "Plan fase" van de PDCA-cyclus, waarbij de ketenanalyse onderdeel is van de nulmeting voor het uiteindelijke proces.

4.1 Ketenganalyse

Een ketenanalyse is een berekening van de CO₂-uitstoot van de complete keten, oftewel de levenscyclus van een specifiek product of dienst, vanaf grondstoffenwinning tot aan het einde van de levensduur (afvalverwerking / hergebruik). Alle fasen hebben invloed op de CO₂-uitstoot en worden daarom opgenomen in de ketenanalyse. De levenscyclus van een product wordt onderverdeeld in up- en downstream activiteiten. Upstream activiteiten omvatten alle handelingen die plaatsvinden vóór de levering van het product (toeleveringsketen). Downstream activiteiten betreffen alle handelingen die plaatsvinden nadat het product is afgeleverd. In tabel 3 is de levenscyclus van een product inclusief de onderverdeling in de activiteiten weergegeven (Groenbalans, 2022):

Tabel 3
 Upstream en downstream activiteiten

Upstream – keten	Eigen bedrijfsvoering	Downstream - keten
Scope 3	Scope 1 + 2	Scope 3
Gekochte goederen en diensten	Gebouwen	Transport en distributie
Kapitaal goederen	Vervoer	Verwerken van verkochte producten
Brandstof en energie gerelateerde activiteiten		Verwerking nagebruik van producten
Transport en distributie		Gebruik van verkochte producten
Afval door productie		Gehuurd panden en machines
Zakelijk reizen		Franchises
Werknemersverkeer		Investeringen
Gehuurd panden en machines		

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Scope 3 de ketenanalyse: waarom wat en hoe door Groenbalans, 2022. Geraadpleegd op 4 september 2023, van (<https://www.groenbalans.nl/scope-3-de-ketenanalyse/>). Copyright 2022, Groenbalans.

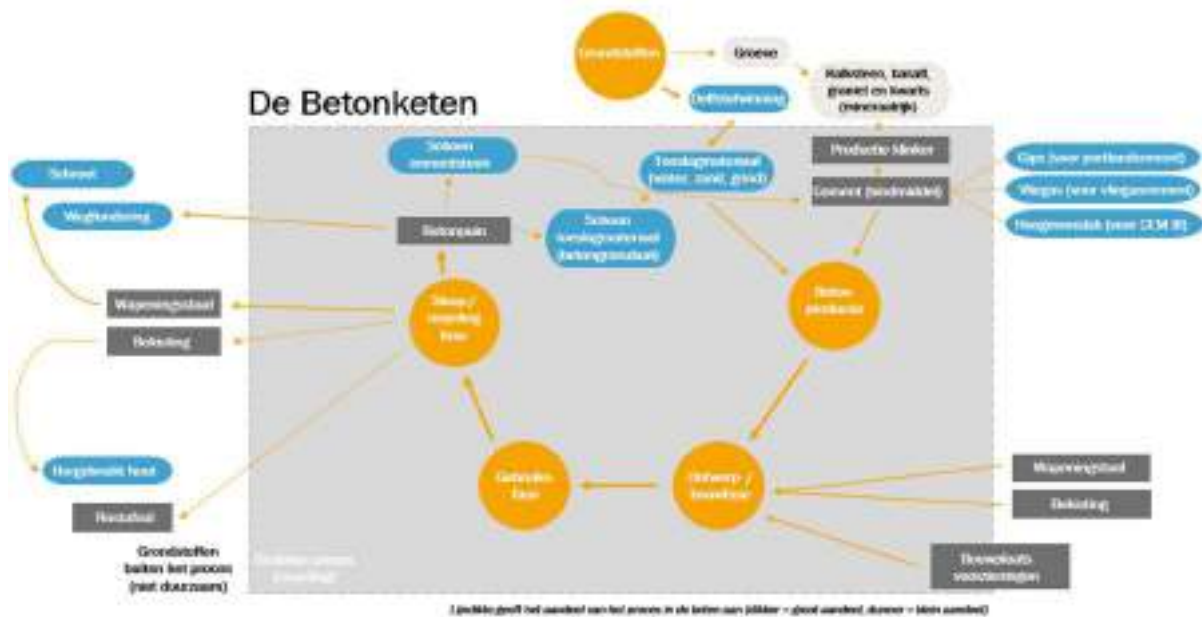
Met het uitvoeren van een ketenanalyse kunnen CO₂-reductiekansen worden geïdentificeerd, een reductiedoelstelling kan worden gedefinieerd en de voortgang kan gemonitord worden. Op basis van de ketenanalyse kan een organisatie maatregelen nemen om samen te werken met partners binnen de eigen keten om de gestelde reductiedoelstellingen te behalen (Groenbalans, 2022).

4.2 Ketenganalyse beton

Beton is een bouw materiaal dat is samengesteld uit water, zand, grind, bindmiddelen en eventueel extra hulp- en vulstoffen. Zand en grind worden toeslagmaterialen genoemd en worden samengehouden met het

bindmiddel, dat reageert met water. Meestal wordt cement als het bindmiddel gebruikt, wat tevens het belangrijkste bestanddeel van beton is. Het cement verhard door een chemische reactie met water. De water/cementfactor is de verhouding tussen de hoeveelheid water en cement, en speelt een cruciale rol bij de duurzaamheid en de sterkte van beton (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 54-55) (Wouters, 2019).

De betonwaardeketen kan worden opgesplitst in de opeenvolgende fasen, de grondstoffenwinning, de betonproductie, de ontwerp- en bouwphase, de gebruiksfase en als laatste de sloop- en recyclingfase. Tussen al deze fasen vindt er ook transport plaats. Bij elke stap (pijl) wordt er extra waarde aan het (eind) product toegevoegd, waarbij ook CO₂ vrijkomt. In figuur 11 is dit proces globaal en schematisch weergegeven. In [bijlageboekje 2](#) is dit figuur, inclusief de stappen, verder onderbouwd (Wouters, 2019).



Figuur 11: Ketenanalyse 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

Het identificeren van de (geschikte) partners in de waardeketen van beton en betonproducten is een belangrijk aspect bij het begrijpen en optimaliseren van de betonketen, en daarnaast 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. Belangrijke partners in de betonketen zijn bijvoorbeeld grondstoffen- en betonleveranciers, adviseurs zoals architecten, ontwerpers en constructeurs, opdrachtgevers en (onder) aannemers (persoonlijke communicatie, oktober 2023).

Middels een afgenomen enquête bij Van der Ven, opgenomen in [bijlageboekje 6](#), zijn de partners geïdentificeerd waar over het algemeen het meest mee wordt samengewerkt door Van der Ven. Deze zijn opgenomen in hoofdstuk 5 van de ketenanalyse. Deze partners komen ook terug in de crediteurenlijst van de scope 3 analyse.

Verder is als onderdeel van de ketenanalyse in [bijlage 7](#) een analyse opgenomen van de product markt combinaties van Van der Ven. Hierin wordt het verband beschreven tussen de gerealiseerde producten of diensten op de projecten van Van der Ven en de expertisegebieden, oftewel de markten. Dit helpt om de juiste doelgroep af te bakenen en dit vervolgens te positioneren in de markt ten opzichte van de

belangrijkste concurrenten. In **bijlageboekje 6** zijn de verschillende locatiebezoeken opgenomen aan de diverse bedrijven en projecten welke input hebben geleverd voor de ketenanalyse.

Op basis van het gedetailleerde overzicht van de betonketen, kunnen de scope-3 emissies in de betonketen worden gekwantificeerd op basis van de fasen van een levenscyclusanalyse (LCA), van A1 t/m D. Omdat beton in de gebruiksfase geen onderhoud vergt wordt op fase B niet verder ingegaan. In figuur 12 is de levenscyclusanalyse, specifiek voor beton, weergegeven (TNO Nederland, 2020).



Figuur 12: Levenscyclus analyse beton (LCA)
Aangepast overgenomen uit PCR Asfalt (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.

In tabel 4 is de totale klimaatimpact in kg CO₂ van de gehele betonketen weergegeven voor 1 m³ betonmortel en/of betonproducten met en zonder wapening, welke is berekend in de ketenanalyse. Hierbij is gerekend met de gemiddelde betonsamenstelling voor betonmortel en betonproducten conform het onderzoek van de CE Delft (CE Delft, 2020) voor 1 m³ betonmortel en/of betonproduct (prefabricage).

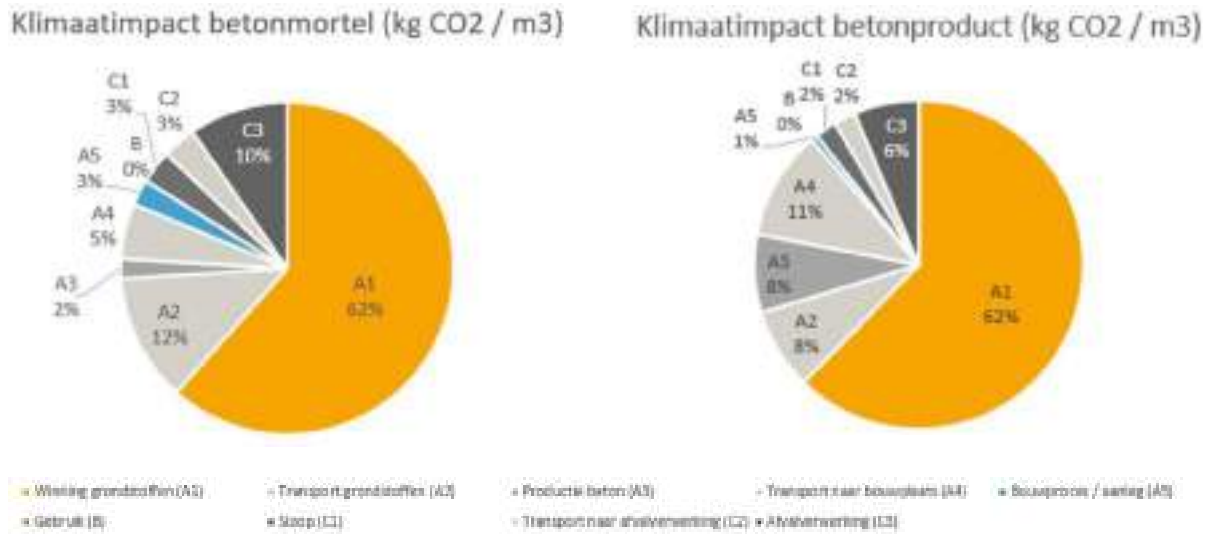
Tabel 4
Totale klimaatimpact in de gehele levenscyclus van 1 m³ betonmortel / betonproduct

Fase LCA	Onderdeel van fase	Fase	Klimaatimpact betonmortel (kg CO ₂ /m ³)		Klimaatimpact betonproduct (kg CO ₂ /m ³)	
			ZW ⁴	MW ⁴	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
Gebruiksfase	Gebruik	B	0	0	0	0
Sloofase	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 ⁵	D	-7,91	-27,68	-7,91	-27,68
Totaal			194,22	244,38	304,39	332,21

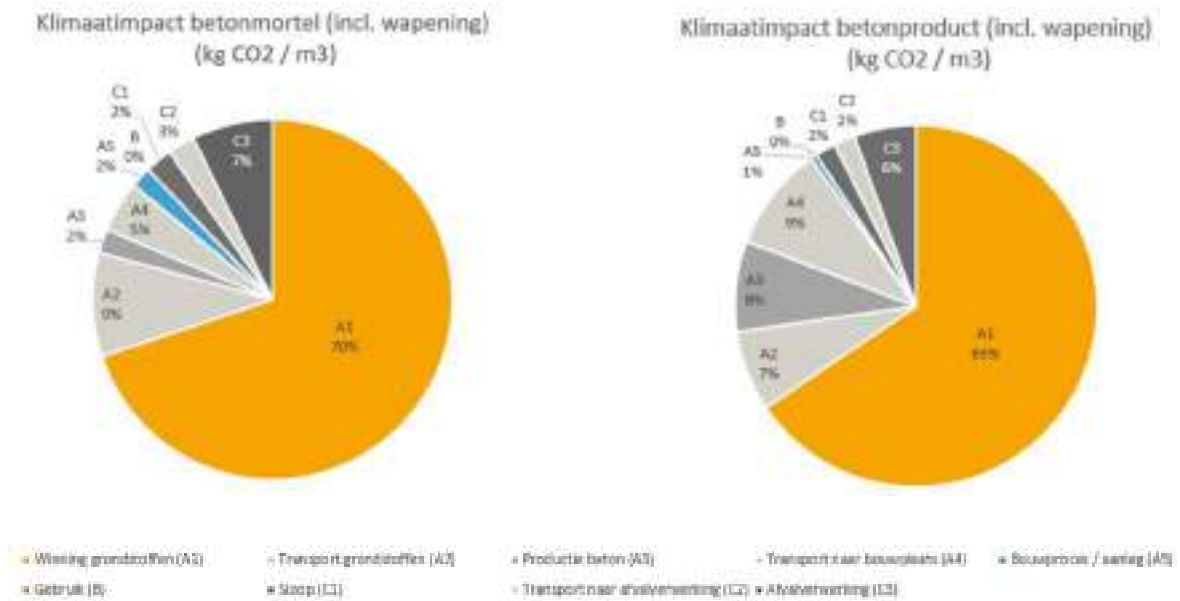
⁴ ZW = zonder wapening, MW = met wapening

⁵ 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 uit tabel 4 visueel weergegeven, als percentage per fase van de CO₂-uitstoot ten opzichte van de gehele ketenuitstoot (LCA fase A1 t/m C3).

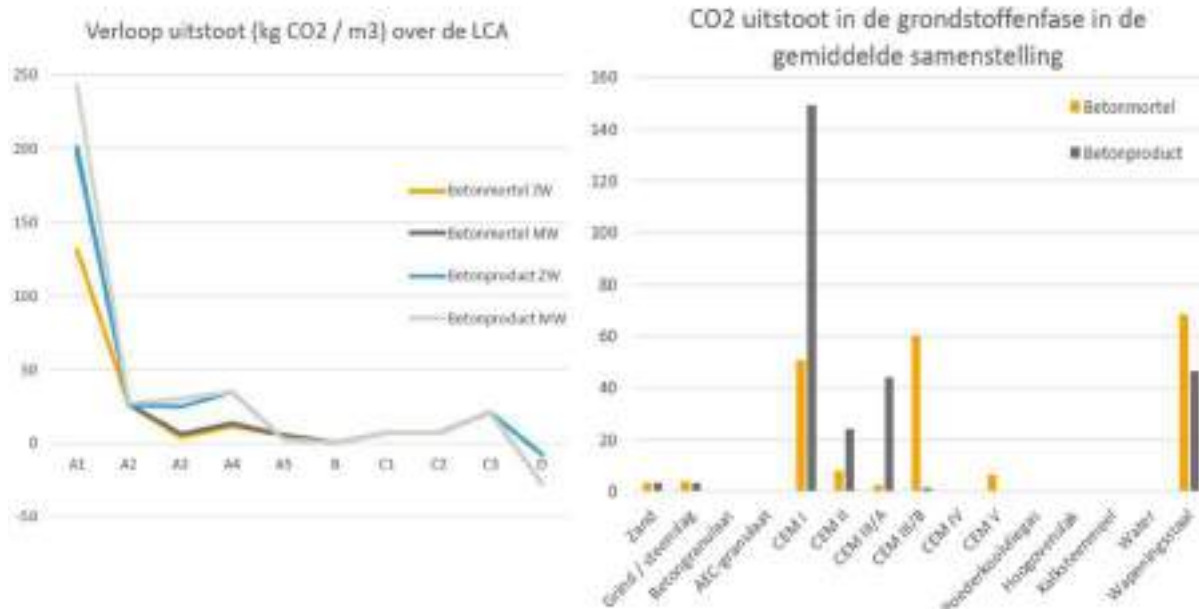


Figuur 13: Cirkeldiagrammen klimaatimpact betonmortel en betonproduct in kg CO₂ / m³, zonder wapening



Figuur 14: Cirkeldiagrammen klimaat impact betonmortel en betonproduct in kg CO₂ / m³, met wapening

In figuur 15a is een lijndiagram weergegeven met het verloop van de uitstoot in kg CO₂ / m³ beton over de fasen van de levenscyclus van beton. In figuur 15b een staafdiagram weergegeven 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 15a: Lijndiagram met het verloop van de uitstoot in kg CO₂ / m³ en Figuur 15b: een staafdiagram met de CO₂ uitstoot in de grondstoffenfase in de gemiddelde samenstelling

4.3 Conclusie

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;
- ▶ Waar in tabel 4 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 bouwfase weer CO₂ bespaart met betonproducten i.r.t. betonmortel;
- ▶ De bouwfase 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 het grootste potentieel voor CO₂-reductie ligt in de optimalisatie van de grondstoffensamenstelling. Maar ook in het transport, in de productie van betonproducten en in de sloopfase valt nog veel te verbeteren. In de bouwfase en in de productie van betonmortel valt nagenoeg geen verbeteringslag te maken.

5. Huidige maatregelen en plannen

In dit hoofdstuk wordt de huidige situatie binnen Van der Ven en de branche op het gebied van de reductie van CO₂-uitstoot van beton in kaart gebracht (deelvraag 3). Huidige maatregelen, doelstellingen en toekomstplannen zullen worden behandeld om vervolgens naar een gewenste situatie te kunnen toewerken. Dit hoofdstuk hoort bij de "Plan fase" van de PDCA-cyclus, waarbij doelstellingen en maatregelen worden vastgelegd.

5.1 Van der Ven

5.1.1 Huidige maatregelen

Uit de eerste scope analyse bleek dat brandstof verantwoordelijk is voor de meeste CO₂-uitstoot binnen de organisatie van Van der Ven (van Drunen, 2021). Daarom is door Van der Ven ingezet op de elektrificering van het wagenpark. Specifieke maatregelen op het gebied van CO₂-reductie bleven uit. Uit de nieuwe scope 3 analyse blijkt echter dat beton de grootste uitstoter is. Dat is dan ook de aanleiding voor dit onderzoek.

Indirect zijn er wel in de afgelopen tijd diverse maatregelen genomen waarbij CO₂-uitstoot is gereduceerd. De aanleiding hiervoor waren kosten, arbeidsomstandigheden of eisen uit het bestek, niet de reductie van CO₂. Dit blijkt uit de interviews afgenomen met de directie, deze zijn opgenomen in [bijlageboekje 6](#).

5.1.2 Bedrijfsdoelstellingen

Jaarlijks worden er diverse strategiesessies gehouden door de directie van Van der Ven. Hierbij worden er ook doelstellingen uitgesproken op het gebied van duurzaamheid, het duurzaamheidsbeleid van Van der Ven is dan ook onderdeel van het strategieplan. Daarnaast zijn in het energie management actieplan specifiek de CO₂-doelstellingen benoemd (van Drunen, 2022).

Met betrekking op emissiereductie zijn de volgende doelstellingen opgesteld in het duurzaamheidsbeleid en in het energiemangementplan voor 2021 – 2030:

- ▶ In 2024 is Van der Ven 80% zelfvoorzienend in ons stroomverbruik;
- ▶ In 2025 kan Van der Ven 100% emissieloze projecten uitvoeren;
- ▶ In 2030 is 70% van de verbruikte energie door Van der Ven duurzaam;
- ▶ In 2030 heeft Van der Ven een uitstootvermindering van 10% per € omzet gerealiseerd ten opzichte van 2020.

Ook zijn er in het energie management actieplan reductiedoelstellingen opgesteld met betrekking tot scope 1, 2 en 3. Voor dit onderzoek zijn de reductiedoelstellingen van scope 1 en 2 niet relevant.

De huidige reductiedoelstelling scope 3 van Van der Ven luidt als volgt:

"Verlagen van de CO₂-uitstoot met 3% van de meest materiële scope 3 emissie, te weten dieselverbruik door onderaannemers op onze projecten, per bestede € in 2023 ten opzichte van 2020"

Nu blijkt dat de emissie uit de betonketen het grootste is, is er in samenspraak met de afdeling KAM een nieuwe doelstelling met betrekking op dit afstudeeronderzoek opgesteld:



“Het realiseren van een vermindering van de CO₂-uitstoot in de betonketen met 20%, per bestede € in 2030 ten opzichte van 2024, met de ambitie naar 40% reductie.”

5.1.3 Toekomstplannen

Tijdens de afgenomen interviews met de directie zijn een aantal toekomstplannen voorgelegd en besproken:

- ▶ Ambitie voor het duidelijk vastleggen, registreren en monitoren van duurzaamheidsdoelstellingen. Wanneer de doelstellingen eerder behaald zijn moeten de doelstellingen verscherpt worden. Hierbij moet ook de doelstelling van dit onderzoek meegenomen worden;
- ▶ Duurzaamheid, net zoals bijvoorbeeld Veiligheid en Gezondheidsplannen (V&G) en vergunningen in het brede perspectief meenemen;
- ▶ De medewerkers bewust maken van duurzaamheid, net zoals met veiligheid gedaan wordt;
- ▶ De buitenwereld laten weten dat duurzaamheid een belangrijk speerpunt is voor Van der Ven, bijvoorbeeld middels de website en sociale media;
- ▶ Duurzaamheid meenemen in de planvorming (tenderafdeling);
- ▶ Aannemen van een duurzaamheidscoördinator.

5.2 Andere bedrijven in de branche

In de betonbranche worden momenteel door leveranciers, producenten en aannemersbedrijven al diverse CO₂-reducerende maatregelen⁶ met betrekking tot beton genomen. Dit blijkt uit de verschillende locatiebezoeken, opgenomen in [bijlageboekje 6](#). Uit deze locatiebezoeken en het deskresearch kwamen een aantal opvallende zaken naar voren⁷:

Opdrachtgevers vinden het lastig om effectief uit te vragen en te toetsen op CO₂-reductie. Dit heeft meerdere oorzaken. Ten eerste is voor CO₂-reductie is veel kennis vereist. Ook juridisch, innovaties kunnen in strijd zijn met huidige wet- en regelgeving. Omdat die kennis vaak niet in huis is, vermijden opdrachtgevers het risico en spelen ze liever op safe, zeker als het gaat om het toetsen van inschrijvingen. Ook kan door onvoldoende kennis in huis tegenstrijdig worden uitgevraagd, zeker tussen de thema's circulariteit en CO₂-reductie, dit kan leiden tot schijnoplossingen. Daarnaast zijn opdrachtgevers bang dat door (te) hoge eisen te stellen niet iedereen meer kan meedoen, dit kan in strijd zijn met de voorwaarden voor een contracteis of gunningscriteria. Bovendien vergt het voor inschrijvers investeringen die niet altijd binnen een project terug te verdienen zijn. Ten derde zijn de huidige methodieken, zoals de Milieu Kosten Indicator (MKI-waarde) en de CO₂-prestatieladder, niet meer uitdagend genoeg voor inschrijvers. Onvoldoende budget kan, zeker voor kleinere opdrachtgevers, ook een reden zijn waarom er niet effectief op CO₂ wordt uitgevraagd. Tevens kan het gebruik van de verkeerde beoordelingsmethodiek er ook toe leiden dat kwaliteitsaspecten niet voldoende worden beoordeeld. Daarnaast wordt er in de uitvoering onvoldoende getoetst op de beloftes uit de inschrijving, waardoor er niet altijd aan beloftes wordt voldaan (persoonlijke communicatie, november 2023) (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 77-85).

Grondstoffenleveranciers, zoals cementleveranciers [REDACTED] en [REDACTED], zijn behoorlijke grootmachten in Nederland. Leveranciers van betonmortel en prefab betonproducten kunnen vaak niet om zulke partijen heen. Omdat er weinig concurrentie is op de markt, is er voor deze grootmachten geen prikkel uit die markt om te investeren in

⁶ Deze maatregelen zijn ook opgenomen in bijlageboekje 3: maatregellijst;

⁷ In hoofdstuk 12.1 is opgenomen hoe de ruis uit de verschillende locatiebezoeken is gehaald.

verduurzaming. Specifieke wet- en regelgeving zou dit kunnen stimuleren. Voor grondstoffenleveranciers voor zand en grind is dit minder van toepassing, omdat er in deze markt meer concurrentie is. Daarnaast kosten vergunningsprocedures veel tijd. In Nederland komen er daardoor bijna geen nieuwe winningslocaties meer bij. Dit resulteert in een schaarste aan winningslocaties, met het gevolg dat er verschillende (concurrerende) leveranciers op één locatie deze toeslagmaterialen winnen. Door deze concurrentie onderling is er weinig ruimte om te investeren in verduurzaming van het winningsproces, omdat afnemers veelal voor de goedkoopste leverancier kiezen (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 54-55).

Bij betonmortelproducenten zit veel kennis met betrekking tot CO₂-reductie. Daarnaast worden CO₂-reducerende maatregelen, bijvoorbeeld met betrekking op het productieproces, zoveel mogelijk geïmplementeerd en zijn ze uitvoerig bezig met innovatieprojecten. Niettemin zijn ze wel afhankelijk van de vraag van hun klanten met betrekking tot duurzame samenstellingen van betonmengsels, een vraag die er nu nog maar weinig is (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 18-55).

Leveranciers van prefab beton zijn eveneens intensief bezig met het verduurzamen van hun productieproces en het optimaliseren van ontwerpen, zoals bijvoorbeeld het gebruik van holle structuren. Er blijft echter ruimte voor verbetering, met name wat betreft de keuzes met betrekking tot cementgebruik. Hoewel de leveranciers (voornamelijk van constructieve betonproducten) claimen dat ze door een slim ontwerp met materiaalbesparing een behoorlijke hoeveelheid CO₂ reduceren, zijn de mengsels vaak CO₂-intensief door de toepassing van veel portlandcement. Dat doet de CO₂-reductie veelal te niet en het product weegt niet op tegen hetzelfde massieve product met een CEM III/A of B cement. De toepassing van veel Portlandcement in de prefab industrie heeft te maken met de korte uithardingstijden en onvoldoende opslagruimte in de hal. Daarnaast worden de keuzes met betrekking tot de mengselsamenstelling momenteel nog sterk beïnvloed door de specifieke wensen van de klant (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 31-55).

Verschillende grote (collega) aannemers hebben zich aangesloten bij het Betonakkoord, maar dit geldt niet voor middelgrote en kleine aannemers. De nadruk lijkt voornamelijk te liggen op het aanpakken van de scope 1 en 2 emissies, terwijl scope 3 emissies nog niet voldoende aandacht krijgen. Ondanks de overvloed aan kennis bij aannemers en de directe communicatiekanalen met betonleveranciers, lijkt CO₂-reductie in de projecten nog niet optimaal te verlopen. Dit komt omdat er weinig vraag is vanuit opdrachtgevers, en als de vraag er wel is, wordt er nauwelijks gecontroleerd in de uitvoering. Door het gebrek aan controle kan niet gegarandeerd worden dat de beoogde CO₂-reductie altijd daadwerkelijk behaald wordt. Daarnaast zijn de huidige eisen van opdrachtgevers, zoals de MKI en de CO₂-prestatieladder, relatief gemakkelijk te behalen. Hierdoor worden aannemers onvoldoende gestimuleerd om extra inspanningen te leveren op het gebied van duurzaamheid. Hoewel aannemers dus de intentie hebben om duurzamer te werken in de betonketen, is het essentieel dat opdrachtgevers expliciet vragen naar CO₂-reducerende maatregelen met betrekking tot beton en deze belonen tijdens het aanbestedingsproces. Dit stimuleert ook aannemers die nog niet actief bezig zijn met CO₂-reductie in de betonketen om hiermee aan de slag te gaan (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 77-85).

Veel architecten-/ingenieursbureaus hebben nog weinig kennis met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen. Daarnaast durven ze weinig risico te nemen met betrekking op materiaalbesparing en wordt er met betrekking op veiligheidsfactoren nog veel overgedimensioneerd. Dit wordt mede veroorzaakt door het heersende conservatisme binnen deze bureaus. Door net zoals een milieuklasse een duurzaamheidsklasse te introduceren voor beton kunnen constructeurs gestimuleerd worden om actief hiermee aan de slag te gaan (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 77-85).

Transporteurs zetten momenteel waar mogelijk al in op verduurzaming in de transportsector, door bijvoorbeeld het gebruik van duurzame brandstoffen, een nieuw wagenpark, een slimme transportplanning en brandstofefficiëntie. De elektrificatie van het wagenpark blijkt vaak nog niet haalbaar, gezien de huidige ontwikkelingen. Zo is de actieradius onvoldoende voor de transportafstanden in de betonsector, en er zijn beperkte (snel)laadvoorzieningen beschikbaar. Veel transporteurs tonen meer interesse in waterstof, maar deze technologie staat eveneens nog in de beginfase, waarbij er nog aanzienlijke ontwikkelingen nodig zijn met betrekking tot de laad- en tankinfrastructuur (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 54-55).

Betonpuin wordt grotendeels gerecycled tot betongranulaat, maar zo'n 90% belandt niet terug in de keten, maar onder de weg als wegfundering. Samenwerking tussen recyclingbedrijven en betonproducenten bevordert recycling, waarbij niet alleen betongranulaat maar ook zand en soms cementsteen herwonnen kunnen worden. Het is cruciaal om recyclingbedrijven te stimuleren meer grondstoffen uit beton terug te winnen en nauw samen te werken met betonleveranciers voor een optimaal hergebruik (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 77-85).

5.3 Conclusie

Van der Ven heeft al aanzienlijke vooruitgang geboekt op duurzaamheidsgebied, met ambitieuze doelstellingen voor emissiereductie van 2021 tot 2030. Opvallend is echter het ontbreken van specifieke maatregelen voor CO₂-reductie in de betonketen. Huidige genomen maatregelen voor CO₂-reductie in beton waren niet duurzaamheidsgericht. Met betrekking tot het bestaande beleid zijn de volgende conclusies geformuleerd:

- ▶ Doelstellingen worden momenteel niet duidelijk in één document vastgelegd. Daarnaast worden ze niet geregistreerd en gemonitord waardoor ze niet worden behaald;
- ▶ Momenteel zijn er nog geen specifieke maatregelen met betrekking op CO₂-reductie van beton. De doelstelling uit dit onderzoek moet daarom meegenomen worden in het duurzaamheidsbeleid;
- ▶ Er is momenteel onvoldoende capaciteit binnen de KAM-afdeling om actief betrokken te zijn bij de uitvoering van het duurzaamheidsbeleid. Om de uiteindelijke implementatie van de resultaten van dit onderzoek mogelijk te maken, is het noodzakelijk om een duurzaamheidscoördinator aan te stellen.

Met betrekking tot de ketenpartners kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- ▶ Opdrachtgevers vinden het lastig om effectief uit te vragen en te toetsen op CO₂-reductie, hierdoor worden inschrijvende aannemers niet voldoende gestimuleerd;
- ▶ Bij betonmortelproducenten zit veel kennis met betrekking tot CO₂-reductie, echter is er weinig vraag, er is dus een kip- en eiprobleem;
- ▶ Wet- en regelgeving moet grondstoffenleveranciers stimuleren duurzaam te winnen en produceren;
- ▶ Prefab betonleveranciers streven naar ontwerptimalisatie door materiaalbesparing, maar vaak leidt dit tot overmatig gebruik van portlandcement bij constructieve betonproducten;
- ▶ Constructeurs kunnen door introductie van een duurzaamheidsklasse gestimuleerd worden om met CO₂-reductie in de betonketen aan de slag te gaan;
- ▶ Transporteurs moeten in de toekomst vooral in gaan zetten op elektrificatie en waterstof brandstof;
- ▶ Recyclingbedrijven moeten worden aangemoedigd om meer grondstoffen voor beton terug te winnen en nauw samen te werken met betonleveranciers voor een optimale terugvoer in de keten.

Samenwerking met partners is cruciaal voor CO₂-reductie in de betonketen en het vermijden van het kip- en eiprobleem, waarbij partners elkaar beschuldigen als oorzaak van het probleem.

6. Inventarisatie maatregelen

Dit hoofdstuk heeft als doel om CO₂-reducerende maatregelen voor beton te identificeren die mogelijk kunnen worden geïmplementeerd binnen aannemingsbedrijf Van der Ven (deelvraag 4 en 5). Dit is van essentieel belang om naar een gewenste situatie te kunnen werken, en in lijn is met de 'Plan-fase' van de PDCA-cyclus. In dit hoofdstuk staat de CO₂-emissiestrategie centraal, waarbij de nadruk ligt op: verminderen, verduurzamen, veranderen, vermijden en compenseren (figuur 5).

In **bijlageboekje 3** is de maatregellijst opgenomen inclusief een overzichtstabel met de totale lijst aan maatregelen. In deze bijlage zijn alle mogelijk te nemen maatregelen in de gehele betonketen geïnventariseerd en uitgebreid toegelicht. In de onderstaande hoofdstukken zijn de maatregelen kort toegelicht en onderverdeeld in de ontwerp- en voorbereidingsfase of in de transport- en bouwphase.

6.1 Ontwerp- en voorbereidingsfase

In de productiefase (LCA fase A1 t/m A3) kunnen er diverse maatregelen worden getroffen om de CO₂-uitstoot in de keten te reduceren. De maatregelen zijn verdeeld onder de verschillende doelstellingen:



Doelstelling 1: Minder CO₂ bij de productie van klinker (of: staal)

De eerste doelstelling luidt: "Minder CO₂ bij de productie van klinker". Bij de productie van het traditionele portlandcement komt er namelijk een behoorlijke hoeveelheid CO₂ vrij, ruim 880 kg per ton portlandcement (Vermeulen, 2017). Twee derde van deze uitstoot wordt veroorzaakt door de verhitting naar 1450 °C voor de klinkervorming [$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$], het overige deel wordt veroorzaakt door de fossiele brandstoffen die benodigd zijn voor het productieproces (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 11-13).

Nieuwe cementsoorten: Belietcement en Solida cement

Met het toepassen van de nieuwe cementsoorten Belietcement of Solida cement kan tot 30% CO₂ worden gereduceerd, omdat het bij lagere temperaturen wordt geproduceerd, namelijk bij 1200 tot 1250 °C. Met Solida cement kan zelfs een reductie van 70% CO₂ worden gerealiseerd ten opzichte van Portlandcement wanneer er bij de verharding (= Carbstone) CO₂ wordt vastgelegd. Hiervoor zijn echter enorme investeringen nodig om de ovens aan te passen, en daarnaast hebben deze cementsoorten ook andere constructieve eigenschappen waardoor ze niet voor elke toepassing geschikt zijn. Deze nieuwe cementsoorten worden daarom pas interessant wanneer er weinig tot geen hoogovenslak meer beschikbaar is, omdat hoogovencement een gelijkwaardig milieuprofiel heeft, met tot 70% reductie ten opzichte van Portlandcement (zie theoretisch kader) (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 12-14) (van Gent, 2021, pp. 22-23).

Afvangen CO₂: Carbon Capture (CCU/S)

CCU/S staat voor Carbon Capture, Utilisation, and Storage, wat zich vertaalt naar koolstofopname, gebruik en opslag. Bij CCU/S wordt CO₂, welke vrijkomt tijdens de productie van klinker, vastgelegd om te voorkomen dat het in de atmosfeer vrijkomt. Voor deze koolstofopname zijn momenteel drie technologieën beschikbaar, namelijk: opvang na verbranding, de zuurstof technologie en directe scheiding. Voor alle drie de technologieën worden er momenteel pilotprojecten uitgevoerd. De opgevangen CO₂ die niet in de

atmosfeer wordt uitgestoten, kan worden gebruikt in de chemische productie, plantengroei en in nieuw beton (Carbstone/Carbon Cure). Daarnaast kan de CO₂ ook veilig worden opgeslagen, zowel offshore als onshore. Een groot voordeel is dat deze technologie het mogelijk maakt om alle CO₂-uitstoot uit de klinkerproductie af te vangen, goed voor zo'n 65% reductie van fase A1 van het gemiddelde betonmengsel (zie figuur 13 en 14). Daarentegen vereist deze technologie aanzienlijke investeringen om alle cementfabrieken te voorzien van CO₂-afvanginstallaties en is er kostbare infrastructuur nodig om CO₂ op te slaan en te transporteren (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 7-9) (Heidelberg Materials, 2020).

In figuur 16a (Gassnova SF, 2020) is het Brevik CCS-project weergegeven, 's wereld eerste faciliteit voor het afvangen van CO₂ die vrijkomt bij de productie van cement. De CO₂ wordt getransporteerd via een bestaand leidingstelsel naar een offshore platform voor injectie in formaties onder de zeebodem. De verwachting is dat de faciliteit in 2024 operationeel is (Heidelberg materials). In figuur 16b (Bruin, 2023) is een schematische weergave voor de mogelijkheden van RCF (recycled concrete fines) weergegeven, waarbij CO₂ reageert, carbonateert en wordt opgeslagen in het beton. Door gebruik te maken van afgevangen CO₂ van een cementfabriek is de cyclus weer rond.



Figuur 16a: Het Brevik CCS-project en Figuur 16b: Schematische weergave voor de mogelijkheden van RCF

Figuur 16a is overgenomen uit *Developing Longship – Key Lessons Learned* (p. 23) door Gassnova SF, 2020. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/06/Gassnova-Developing-Longship-FINAL.pdf>) Copyright 2020, Gassnova SF. Figuur 16b is overgenomen uit *Binding CO2 bij hergebruik cementsteen* door M. Bruin, 2023. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.betoniek.nl/binding-co2-bij-hergebruik-cementsteen>). Copyright 203, Betoniek.

Alternatieve wapening

In de afgelopen decennia zijn diverse alternatieve wapeningsmaterialen geïntroduceerd, zoals vezels (zie figuur 17a) van polymeren, mineralen of biologische materialen, ter vervanging van traditionele staven of netten. Sommige alternatieven verminderen krimpscheuren, terwijl andere een constructieve rol vervullen. Vezels kunnen eenvoudig in betonmortel worden gemengd, wat minder arbeidsintensief is dan het plaatsen van stalen wapening. Een bijkomend voordeel voor alternatieve wapening is dat het corrosierisico afneemt, waardoor er minder beton(dekking) nodig is. Het CO₂-reductiepotentieel is gebonden aan de vervanging van traditionele stalen wapening en verschilt per project, afhankelijk van betonvereisten zoals sterkte- en milieuklasse. Het CO₂-reductiepotentieel is niet vast te stellen, maar LCA-berekeningen op projectniveau kunnen inzicht bieden (van Gent, 2021, p. 41) (Betonhuis, 2021) (Aanen, Maatregellijst, 2023, p. 11).



Doelstelling 2: Kleiner aandeel klinker in cement

De tweede doelstelling luidt: "Kleiner aandeel klinker in cement". Portlandcement (CEM I) bestaat voor 95 tot 100% (Aanen, Ketenanalyse beton, 2023, p. 16) uit het CO₂-intensieve klinker. Door een deel van de klinker te vervangen voor andere bestanddelen kan er CO₂ worden gereduceerd.

Klinkervervanging: toepassing hoogovenslak, vliegas en kalksteenmeel

Poederkoolvliegas, een fijn poeder van bolvormige glasachtige deeltjes, ontstaat als bijproduct tijdens de verbranding van poederkool in kolengestookte elektriciteitscentrales (Beton Lexicon, 2019). Het wordt in beton gebruikt als vulstof en bindmiddel (klinkervervanging). Eveneens is gemalen en granuleerde hoogovenslak, een bijproduct van ruwijzerproductie in het hoogovenproces, geschikt als bindmiddel in beton ter vervanging van klinker (Beton Lexicon, 2018). Omdat beide materialen restproducten zijn, wordt geen CO₂ aan de productie toegeschreven. Hoogovencement (CEM III/B) kan een CO₂-reductie van 70% opleveren, en vliegas een reductie van 35% ten opzichte van Portlandcement. Echter, de beschikbaarheid van hoogovenslak en vliegas daalt aanzienlijk, naar verwachting halveert de hoeveelheid hoogovenslak in 2030 en neemt de hoeveelheid vliegas met 70% af (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 15-17, 19-21) (van Gent, 2021, pp. 33,38). Kalksteen kan een alternatief zijn, maar de CO₂-uitstoot ligt slechts 10% lager dan bij Portlandcement. Kalksteencement wordt dus pas écht interessant als er geen hoogovenslak meer beschikbaar is ter vervanging van klinker (persoonlijke communicatie, 25 september 2023).

Puzzolanen: gecalcineerde klei en vulkanische as

Gecalcineerde klei (zie figuur 17a) en lava(meel) zijn puzzolanen, die kunnen dienen als vervangers van traditioneel portlandcement. Gecalcineerde klei, geproduceerd bij lagere temperaturen (600-1200 °C), resulteert in een 30% CO₂-reductie vergeleken met traditioneel Portlandcement. Lava heeft overeenkomsten met hoogovenslak, aangezien het bij contact met water een afkoelingseffect ondergaat, vergelijkbaar met granuleren. Door het Portlandcement (deels) te vervangen door lava kan CO₂-uitstoot verminderd worden tot zo'n 20%. Zolang hoogovenslak beschikbaar is, bieden deze puzzolanen geen CO₂-voordeel in Nederland. Beide toepassingen zijn nog in ontwikkeling (TRL-7), vereisen verder onderzoek naar constructieve toepassingen, en worden pas echt interessant als hoogovenslak niet meer beschikbaar is als klinkervervanger (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 15-17) (van Gent, 2021, p. 44) (Verweij, 2023).



Figuur 17a: Een wand met v-l-n-r: geopolymere beton met 98% secundair materiaal, wapening met basalt, hybride beton met restmateriaal vanuit recycling asfalt en gecalcineerde klei bij Voorbij Prefab en Figuur 17b: Bestanddelen na slim breken met de Smart Crusher

Figuur 17a is overgenomen van LinkedIn door D. Staal, 2023. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.linkedin.com/in/dorienstaal/recent-activity/all/>). Copyright 2023, D. Staal. Figuur 17b is overgenomen van SmartCrusher - Betonrecycling - Milieuvriendelijk groen beton door SmartCrusher, 2015. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.youtube.com/watch?v=5ClAriOkOfE>). Copyright 2015, SmartCrusher.

Alkalische bindmiddelen: geopolymere beton en hybride beton

De verzamelnaam geopolymeren staat voor aluminiumsilicaten die geactiveerd zijn door een alkalische stof, bestaande uit een precursor en een alkalische activator. Diverse precursors, van primaire tot secundaire grondstoffen, kunnen worden verkregen via processen als smelten, kleibakken, of mechanische opwerking. Geopolymere beton (zie figuur 17a), een klinkervrij cement, biedt aanzienlijke CO₂-besparing tot 80% in de productiefase, vereist slechts kleine aanpassingen in de betoncentrale, maar is momenteel duurder dan cementbeton. Constructieve eigenschappen en normering zijn nog in onderzoek, maar het heeft potentieel

als toekomstige vervanger voor cementbeton. Hybride beton (zie figuur 17a), een mix van geopolymerbeton en Portlandcement, behoudt het klassieke mengsel van grind, zand, water, en hoogovenslakken. In tegenstelling tot conventioneel beton vermindert hybride beton het cementgehalte door als tweede activator natrium- of kalksulfaat toe te voegen. Dit activeert de hoogovenslakken en vormt het bindmiddel. Opschaling van hybride beton kan leiden tot een verdere CO₂-uitstootvermindering van 25 tot 44%, met ontkistingstijden van 6 tot 8 uur. Het voldoet ook aan wettelijke richtlijnen en kwaliteits- en veiligheidseisen (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 14-15, 32) (Voorbij Prefab, sd) (Betonhuis, 2021) (Staal, 2023).



Doelstelling 3: Minder nieuwe grondstoffen

De derde doelstelling luidt: "Minder nieuwe grondstoffen". Door primaire grondstoffen te vervangen voor secundaire grondstoffen of reststoffen, in plaats van het winnen van nieuwe grondstoffen uit de natuur, kan er CO₂ worden gereduceerd.

Secundaire grondstoffen

Secundaire grondstoffen zijn gerecyclede of herwonnen materialen die worden gebruikt in de productie van bijvoorbeeld nieuw beton en betonproducten. Hiermee kan de CO₂-uitstoot worden verminderd met 20% voor zand en grind en tot 70% voor cementsteen. Voorbeelden in relatie tot beton zijn betongranulaat, zand, grind, en schoon cementsteen (zie figuur 17b) (SmartCrusher, 2015). Nieuwe recyclingtechnieken, zoals slim breken (Smartcrusher en Advanced Dry Recovery), worden gebruikt voor het winnen van cementsteen uit betonpuin en zijn gedetailleerd beschreven in de maatregellijst (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 52-53).

Reststoffen: AEC en ECO-granulaat, AEC-vulstof

Jaarlijks wordt er in Nederland ongeveer 1,5 miljoen ton bodemas (BA) geproduceerd, dit is het residu na afvalverbranding in een afvalenergiecentrale (AEC). Bodemas bevat essentiële mineralogische fasen en kan na reiniging vrijwel volledig hergebruikt worden als toeslagmateriaal (Betoneik, 2016), of na specifieke bewerking als bindmiddel in beton. (van Gent, 2021, p. 32) De fijne delen (<1 mm) zijn relevant voor AEC-vulstof, terwijl de fractie (>1 mm) interessant is voor AEC-granulaat, dat lijkt op een zand/grindmengsel. ECO-granulaat, geproduceerd door het zuiveren van teerhoudend asfalt, behoudt de oorspronkelijke grondstoffen na verbranding van de teercomponenten. Hierdoor kunnen deze grondstoffen herhaaldelijk worden hergebruikt, met een vervangingspercentage van 30% voor ECO-granulaat. De CO₂-reductie wordt geschat op maximaal 20% voor deze toepassingen (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 21-22, 24-25) (persoonlijke communicatie, 19 september 2023).



Doelstelling 4: Minder cement in beton

De vierde doelstelling luidt: "Minder cement in beton". Door het CO₂-intensieve cement in het betonmengsel te minimaliseren kan er CO₂ worden gereduceerd.

Optimalisatie korreelpakking

Verse betonspecie bestaat voornamelijk uit toeslagmaterialen zoals zand en grind, cementlijm, cement en water. Het optimaliseren van de holle ruimtes tussen de zand- en grinddeeltjes is cruciaal omdat dit de benodigde hoeveelheid cementlijm beïnvloedt en bepaalt. Betontechnologen gebruiken zeefanalyses om de optimale korrelverdeling te bepalen, maar deze benadering houdt geen rekening met korrelvorm, oppervlakte-krachten en andere beïnvloedende factoren. Korreelpakkingsmodellen, die meer factoren

overwegen dan alleen de korrelverdeling, kunnen een hogere dichtheid van de korrels bereiken. Een hogere korrel-dichtheid betekent minder benodigde cementlijm en dus ook minder cement, wat gunstig is voor de waterbindmiddel- verhouding. Met deze technologie is een gemiddelde besparing van 10 kg cement per kubieke meter beton haalbaar (=5%) (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 29-30) (van Gent, 2021, p. 21). Hoewel deze technologie beschikbaar is, vereist het meer personeel, ingangscntrole, opslagruimte en gebruik van software-modellen.

Stimulatie hydratatieproces: versnellers

Moderne chloridevrije versnellers spelen een cruciale rol in het stimuleren van het hydratatieproces van cement, vooral in de vroege stadia (6-12 uur na het storten). Ze bevorderen nucleatie en versterken de groei van Calcium Silicate Hydrate (CSH) kristallen. Dit maakt het mogelijk om beton te laten uitharden bij lagere temperaturen, het uithardingsproces beter te beheersen en mogelijk eerder te ontkisten. Deze versneller-technologieën bieden ook de mogelijkheid om minder cement te gebruiken of cement met een lager klinkergehalte, wat energie-intensieve productieprocessen vermijdt. Moderne remote systemen kunnen het uithardingsproces nauwlettend volgen, waardoor het moment van ontkisting nauwkeuriger kan worden bepaald. De nieuwste generatie versnellers beïnvloedt niet alleen de vroege sterkte, maar heeft ook invloed op de latere sterkte, waardoor verdere mogelijkheden ontstaan voor cementreductie. Praktijkervaring toont aan dat een reductie van 20 tot 50 kg cement per kubieke meter beton haalbaar is (= 10 tot 25%) (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 31-32) (van Gent, 2021, p. 34).

Hogere eindsterkte

Slow beton maakt gebruik van de langzamere sterkteontwikkeling na een bepaalde tijdsperiode, zoals 56 of 90 dagen, in tegenstelling tot het traditionele perspectief van 28 dagen. Het richt zich op situaties waarbij kritieke belastingen pas na 28 dagen van belang zijn. Circa 10% van de toepassingen is geschikt voor slow beton, vooral wanneer de sterkteklasse van het beton de water-cementverhouding bepaalt. De kostenbesparing komt voort uit een 10% lager cementgehalte vergeleken met beton dat de uiteindelijke sterkte na 28 dagen bereikt (=10% reductie). Deze methode kan ook in prefabricage worden toegepast met voldoende opslagcapaciteit en is effectief met puzzolanen (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 43-44).



Doelstelling 5: Minder beton in de bouw

De vijfde doelstelling luidt: "Minder beton in de bouw". Door het betongebruik in de bouw te minimaliseren kan er beton, en dus CO₂ worden gereduceerd.

Zelf helend beton

Self Healing Agent is een technologie waarbij specifieke micro-organismen aan het betonmengsel worden toegevoegd om scheuren te herstellen bij contact met binnendringend water. Voordelen zijn onder andere een verminderde reparatienoodzaak, verbeterde waterdichtheid, verlengde levensduur en minder behoefte aan krimpwapening. Deze technologie beperkt het gebruik van nieuw beton in de latere levensfasen. Het CO₂-reductiepotentieel is project specifiek en afhankelijk van het gedrag van het beton in de latere levensfasen (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 30-31) (Betonhuis, 2021).

Materiaalbesparing: slim ontwerpen

Slim ontwerpen omvat diverse strategieën, zoals ontwerpen voor toekomstig hergebruik, optimalisatie, gebruik van oversterkte, en topologisch ontwerpen (3D-printen). Bij toekomstig hergebruik worden

bouwcomponenten vaak overgedimensioneerd, wat leidt tot hoge milieukosten (MKI) en CO₂-uitstoot in de ontwerpfase, die pas na vele jaren wordt bespaard bij daadwerkelijk hergebruik. Moderne benaderingen, zoals bewuster materiaalgebruik, geavanceerde rekenmethoden, kunstmatige intelligentie en robotisering, bieden aanzienlijke mogelijkheden voor CO₂-besparing. Dit is afhankelijk van de hoeveelheid materiaalbesparing. Efficiënter ontwerpen en produceren van constructieonderdelen in de toekomst kan leiden tot aanzienlijke materiaal- en CO₂-besparingen. Door beton of mortel te bestellen met hogere milieuklassen kan extra sterkte worden benut om slankere constructies te ontwerpen en zo materiaal en CO₂ te besparen. 3D-printen (zie figuur 18a) (Heijden, 2019), een opkomende technologie, minimaliseert materiaalgebruik en biedt aanzienlijke besparingen, tot wel 50%, afhankelijk van de geometrie. De CO₂-uitstoot per eenheid product in 3D-printen is naar verwachting hoger, en het totale CO₂-reductiepotentieel vereist LCA-berekeningen vanwege onzekerheden over optimale toepassingsgebieden en vervangingscapaciteit (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 38-42).

Levensduurverlenging en hergebruik van betonnen elementen

Uitgehard beton vertoont vaak scheurvorming, wat leidt tot waterinfiltratie en de corrosie van wapeningsstaal. Dit resulteert in frequente reparaties met cement houdende mortels. Door specifieke technieken te gebruiken, zoals hoogwaardige reparatiemortels, sensormonitoring, self-healing technologie en wapenings-bescherming, kan de reparatiebehoefte verminderd worden. Het bijkomende voordeel is CO₂-reductie door vermeden reparaties, minder mortelverbruik en beperkte transporten, afhankelijk van het gedrag van het beton in de latere levensfasen (van Gent, 2021, p. 27).

Bij selectieve en circulaire sloop, waarbij een grondige analyse van het gebouw plaatsvindt, worden materialen en onderdelen hergebruikt. Zorgvuldige demontage en scheiding van materialen zijn essentieel om negatieve effecten van lineair materiaalgebruik te voorkomen, wat past bij de maatregel 'hergebruik betonelementen'. Dit draagt bij aan een meer duurzame en circulaire economie en vermindert afval. Het CO₂-reductiepotentieel is project specifiek en afhankelijk van de materiaalbesparing. Daarnaast wordt met de groeiende focus op energetische duurzaamheid verwacht dat veel vastgoed in de komende decennia beschikbaar komt voor herbestemming met behoud van de bestaande betonnen kern (zie figuur 18b) (Universiteit Utrecht, 2023). Anticiperend op de toenemende milieuprestatie-eisen, zoals de Milieuprestatie Gebouwen (MPG) en het hergebruik van bestaande constructieve skeletten wordt deze mogelijkheid steeds aantrekkelijker. In 2030 wordt een CO₂-reductie van 260.000 ton verwacht in Nederland door te herbestemmen en renoveren (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 47, 49-50, 54-55) (van Gent, 2021, p. 27).



Figuur 18a: 3D-printen d.m.v. een topologisch ontwerp bij Weber Beamix en Figuur 18b: Hergebruik van een betonnen Casco bij Universiteit Utrecht

Figuur 18a is overgenomen van 3D betonprinten door R. van der Heijden, 2019. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.nl.weber/3d-betonprinten-0>). Copyright 2023, Weber Saint-Gobain. Figuur 18b is overgenomen van Marktverkenning Ontwikkeling Transitiegebouw door Universiteit Utrecht, sd. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.uu.nl/organisatie/campus-development/marktverkenning-ontwikkeling-transitiegebouw>). Copyright, Universiteit Utrecht

6.2 Transport- en bouwfase

In de bouwfase (LCA fase A4 en A5) kunnen er diverse maatregelen worden getroffen om de CO₂-uitstoot in de keten te reduceren. De maatregelen zijn verdeeld onder de verschillende doelstellingen:



Doelstelling 6: Minder CO₂ in de bouwfase

De zesde doelstelling luidt: "Minder CO₂ in de bouwfase". Door verduurzamingsmaatregelen te treffen kan CO₂ in de bouwfase worden bespaard. In dit hoofdstuk zal er worden ingegaan op de verduurzaming van het transport(materieel) van de grondstoffen, de verduurzaming van de productiefase en de daadwerkelijke aanlegfase op de bouwplaats.

Verduurzaming transport(materieel) van grondstoffen (van beton)

In de transportfase (A2, A4 en C2) kunnen diverse maatregelen worden getroffen om de grondstoffen zo duurzaam mogelijk te transporteren. Maar ook tijdens de grondstoffenwinning (A1), de betonproductie (A3), de bouwfase (A5) en de sloop (C1) en afvalverwerking (C3) kan het benodigde (transport)materieel verduurzaamd worden. Fossiele brandstoffen kunnen worden vervangen door elektriciteit (groene stroom, zie figuur 19a) (Miedema, 2021) of waterstof. Ook kunnen alternatieve brandstoffen zoals HVO 100 en LNG worden ingezet om CO₂ te besparen. Door te investeren in moderne voertuigen en duurzaam rijgedrag kan een verbeterde brandstofefficiëntie worden bereikt. Als laatste kan een slimme transportplanning helpen om niet meer kilometers te maken dan nodig waardoor CO₂ kan worden bespaard, hiervoor is het belangrijk om de grondstoffen zo lokaal mogelijk te halen. Door het inzetten van elektrisch materieel, of materieel op waterstof kan in de transportfase tot 100% CO₂ worden gereduceerd in de desbetreffende transportfase. Voor HVO 100 en LNG ligt dit percentage op maximaal 95% en voor duurzaam rijgedrag op 10%. Voor de maatregelen locatie van de grondstoffen en slimme transportplanning is dit geheel afhankelijk van de transportafstanden (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 25-29) (Aanen, Communicatie, 2023).



Figuur 19a: Elektrische betonmixer van Kijlstra en Figuur 19b: Duurzame productielocatie MBI in Kampen, door het gebruik van groene energie afkomstig van windmolens en zonnepanelen

Figuur 19a is overgenomen van *De eerste elektrische betonmixer ter wereld stond weer even in Joure* door A. Miedema, 2021. Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.alexmiedema.nl/2021/01/06/de-eerste-elektrische-betonmixer-ter-wereld-stond-weer-even-in-joure/>). Copyright 2021, A. Miedema. Figuur 19b is overgenomen van *Bedrijfsprofiel door MBI, sd.* Geraadpleegd op 4 december 2023, van (<https://www.mbi.nl/over-mbi/de-steenmeesters/>). Copyright, MBI.

Verduurzaming productieproces van beton

Tijdens het productieproces van beton, in de betonmortelcentrale of de prefab fabriek is energie nodig. Enkele maatregelen die kunnen worden getroffen om de energievoorziening tijdens het productieproces te verduurzamen zijn: het productieproces elektrificeren (zie figuur 19b) (MBI, sd), het gebruik van waterstof (in de toekomst), verwarmen door middel van bodemenergie, energie efficiëntie en hergebruik van warmte.

Naast het verduurzamen van het productieproces, is het ook belangrijk om de bijkomende emissies aan te pakken, zoals de energievoorziening voor de kantoren en het intern transport. Daarnaast moet productieafval zoveel mogelijk voorkomen worden, bijvoorbeeld door het recyclen van restbeton en defecte producten, het hergebruik van water, het toepassen van secundaire grondstoffen en het minimaliseren van verpakkingen bij de prefab productie. In het productieproces is een CO₂-reductie haalbaar van maximaal 8% in fase A3 volgens de ketenanalyse (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 33-35).

Verduurzaming tijdens het aanbrengen van beton

Tijdens het aanbrengen van beton, zowel bij betonmortel als bij prefab elementen, komen emissies vrij door het gebruik van machines die op brandstof werken. Door maatregelen te treffen die zijn benoemd bij het transport van de grondstoffen kunnen emissies in deze fase worden beperkt. Daarnaast is in de uitvoering een goede afstemming met de betoncentrale belangrijk om het aanbrengen van (de) beton (elementen) zo efficiënt mogelijk te verlopen en onnodige emissies te voorkomen. Verder kan er gebruik worden gemaakt van warmteontwikkeling door het beton af te dekken met isolatiedekens of in de prefabricage te verwarmen en vervolgens de warmte te hergebruiken. Als laatste moet (afval)beton zo veel mogelijk worden gescheiden en worden getransporteerd naar een gecertificeerde afvalverwerker om deze grondstoffen opnieuw in de betonketen te kunnen gebruiken. In het bouwproces is volgens de ketenanalyse een CO₂-reductie haalbaar van maximaal 3% in fase A5 (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 44-46). Daarnaast moet er tijdens de aanlegfase van beton ook rekening gehouden worden gehouden met de maatregel: Slimme bouwplanning.

Slimme bouwplanning

Om beton van goede kwaliteit te verkrijgen in de wintermaanden, wordt 25% CEM I aan CEM III toegevoegd, wat de verhardingstijd verkort, maar meer CO₂-uitstoot en mogelijk scheurvorming veroorzaakt. Het verhogen van de omgevingstemperatuur vereist extra energie en onzorgvuldige nabehandeling kan de levensduur van constructies verkorten. Het vermijden van betonstortingen in de wintermaanden kan extra emissies voorkomen. Een andere geschikte aanpak is prefabricage in de koude maanden voort te zetten en in-situ betonstortingen alleen van maart tot oktober te laten plaatsvinden. Daarnaast zijn maatregelen zoals het gebruik van versnellers, extra bekistingsmateriaal, en monitoring door sensing beschikbaar om het werk in de winter voort te zetten. De extra CEM-toevoeging is toepasbaar op 50% van de betonmortel gedurende vier wintermaanden, wat leidt tot een geschatte CO₂-reductie van 20% per m³ beton. Deze maatregel is ook toepasbaar op doelstelling 4, omdat de extra CEM-toevoeging in de winter wordt vermeden (Aanen, Maatregellijst, 2023, pp. 42-43) (van Gent, 2021, pp. 30, 42).

6.3 Samenvatting

In dit hoofdstuk zijn met betrekking tot deelvraag 4 en 5 mogelijke CO₂-reducerende maatregelen voor beton in de ontwerp- en voorbereidingsfase en in de transport- en bouwphase geïnventariseerd en kort toegelicht. Per doelstelling zullen de maatregelen met de bijbehorende CO₂-reductie nog even kort worden samengevat. De uiteindelijke conclusie voor implementatie volgt namelijk in hoofdstuk 7, waarin alle behandelde maatregelen tegen elkaar worden afgewogen middels een Multi Criteria Analyse.

- ▶ Voor doelstelling 1, "Minder CO₂ bij de productie van klinker (of: staal)," kan een CO₂-reductie tot 70% worden gerealiseerd. Dit wordt bereikt door het toepassen van nieuwe cementsoorten, het afvangen en opslaan van CO₂ (met de voorkeur voor opslaan in nieuw beton) en het toepassen van alternatieve wapening;
- ▶ Met betrekking op doelstelling 2 kan door klinkervervanging, de toepassing van puzzolanen en alkalische bindmiddelen een kleiner aandeel klinker in cement worden gerealiseerd. Hoewel klinker-

vervanging door hoogovenslak, vliegashoudend cement en kalksteen al volop wordt toegepast, bevindt de toepassing van puzzolanen en alkalische bindmiddelen zich nog in de ontwikkelingsfase. Hierdoor zullen deze maatregelen pas relevant worden wanneer de beschikbaarheid van de klinkervervangers afneemt;

- ▶ Met betrekking op doelstelling 3 kan door toepassing van secundaire grondstoffen en reststoffen een CO₂-reductie tot 70% (bij cementsteen) worden gerealiseerd door het toepassen van minder nieuwe grondstoffen;
- ▶ Doelstelling 4: "Minder cement in beton", kan worden gerealiseerd door optimalisatie van de korrelpakking, stimulatie van het hydratatieprocessen een hogere eindsterkte. Hiermee kan een CO₂-reductie tot 25% worden gerealiseerd;
- ▶ Doelstelling 5 kan worden gerealiseerd door de toepassing van zelf helend beton, slim ontwerpen, levensduurverlenging en hergebruik van elementen. De CO₂-reductie is afhankelijk van de materiaalbesparing;
- ▶ Doelstelling 6: "Minder CO₂ in de bouwfase" kan worden gerealiseerd door de toepassing van duurzame brandstoffen, elektrificeren van de processen, het toepassen van een slimme bouwplanning en het voorkomen van afval. Hiermee kan een CO₂-reductie tot 20% worden gerealiseerd.

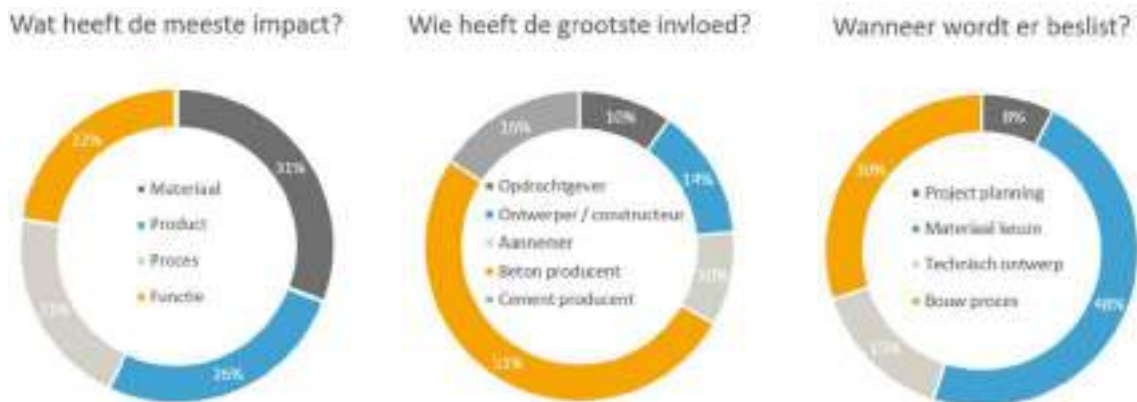
7. Implementatie

Om de beoogde CO₂-reductie te behalen, is het van essentieel belang om te bepalen welke CO₂-reducerende maatregelen voor beton kunnen worden geïmplementeerd binnen Aannemingsbedrijf Van der Ven (deelvraag 4 en 5). In dit hoofdstuk zal na een proces- en stakeholderanalyse middels een Multi Criteria Analyse (MCA) worden afgewogen welke maatregelen uit de maatregellijst op korte en lange termijn kunnen worden geïmplementeerd. Deze analyse van maatregelen zal ook onderzocht worden op kosten en baten. Dit hoofdstuk is in lijn met de ‘Do-fase’ van de PDCA-cyclus, waarbij het plan zal worden uitgevoerd.

7.1 Proces- en stakeholderanalyse

Om de genoemde maatregelen te kunnen uitvoeren, is het noodzakelijk om eerst vast te stellen wie of wat in de betonketen de grootste impact heeft, wie de meeste invloed uitoefent, en om te identificeren wanneer er cruciale beslissingen worden genomen naar aanleiding van de maatregellijst.

Figuur 20a is gebaseerd op het reductiepotentieel voor heel Nederland en overgenomen uit de CO₂-roadmap (van Gent, 2021, p. 15). De figuren 20b en 20c zijn gebaseerd op de overzichtstabel uit de maatregellijst, hierbij horen de tabelkoppen: “planning fase” en “initiatief ligt bij”. De maatregelen in de transportfase en in de bouw-/aanlegfase voor de helft meegeteld vanwege de overeenkomsten tussen de maatregelen onderling.



Figuur 20a (van Gent, 2021, p. 15) 20b en 20c (eigen werk): Procesanalyse

Figuur 20a is aangepast overgenomen uit Road Map CO₂ (p.15) door P. van Gent, 2021. Geraadpleegd op 11 september 2023, van (<https://www.betonakkoord.nl/resultaten/>). Copyright 2021, Betonakkoord.

57% van het reductiepotentieel is gerelateerd aan cement en beton (product + materiaal);
 51% van het reductiepotentieel wordt gerealiseerd tijdens de productie van beton (betonproducent);
 70% van het reductiepotentieel wordt bepaald voordat de bouw start.

Het betonmengsel en de betonproducent hebben veel invloed, maar het zijn de uitvraag en het ontwerp die bepalend zijn. Het is daarom van belang om deze aspecten met betrekking tot het proces mee te nemen in de Multi Criteria Analyse voor implementatie.

Nu vastgesteld is wat het meest impact heeft, is het van belang om de stakeholders te classificeren en te beoordelen op de mate van invloed en belang dat ze hebben. Kunnen ze worden beschouwd als beïnvloeders, sleutelfiguren, toeschouwers of geïnteresseerden? In **bijlage 4** is een categorisatie van de stakeholders en een stakeholderanalyse weergegeven. Stakeholders met een hoge invloed zijn onder andere: directie, cementproducten, beton- en staalleveranciers, adviseurs en grondstoffenleveranciers. Stakeholders die naast een hoge invloed ook een groot belang hebben zijn onder andere: opdrachtgever, wet- en regelgeving, projectteamleden en de overheid. Het is essentieel om rekening te houden met de invloeden en belangen als aspecten in de Multi Criteria Analyse voor implementatie.

7.2 Multi Criteria Analyse (MCA)

Bijlageboekje 3 bevat een Multi Criteria Analyse (MCA) van de maatregellijst. Hierin zijn alle voorgestelde maatregelen verwerkt en beoordeeld aan de hand van diverse criteria over de verschillende periodes in de markt van de komende 10 jaar. De criteria zijn als volgt: invloed van Van der Ven, CO₂-reductiepotentieel, beschikbaarheid in Nederland (per periode: 2024 - 2025, 2025 - 2030 en 2030 >), hoeveelheid toepassingsgebieden en de raakvlakken met veiligheid, kosten (investeringen), bouwtijd, constructieve eigenschappen, verwerkbaarheid, weersomstandigheden, wet- en regelgeving, circulariteit, arbeid en de beschikbaarheid van kennis en technici.

Aan elk criterium is een schaal en een gewicht gekoppeld. De schaal (- / - / -+ / + / ++) geeft de beoordeling op het criterium aan; aan deze schaal is een kleur gekoppeld die voor een aantal punten staat. Een uitgebreide toelichting op de schalen is weergegeven onder de MCA-tabel. Het gewicht is afhankelijk van het belang van het criterium voor implementatie. Het criterium "Invloed van Van der Ven" heeft het hoogste gewicht met 7, aangezien de invloed essentieel is voor de implementatie van de voorgestelde maatregelen. Vervolgens heeft het criterium 'Beschikbaarheid per periode in Nederland' het hoogste gewicht met 5. Dit komt doordat gedurende elke periode moet worden beoordeeld welke maatregelen beschikbaar zijn voor implementatie, afhankelijk van de ontwikkeling van innovaties. Het CO₂-reductiepotentieel heeft een gewicht van 4 en de toepassingsgebieden een gewicht van 3. Als laatste hebben de raakvlakken elk een gewicht van 0,5.

Voor implementatie van de maatregelen is het criterium: "Invloed van Van der Ven" het meest belangrijk, omdat er zonder invloed geen implementatie mogelijk is. Daarna is het criterium: "Beschikbaarheid in Nederland" het belangrijkste, omdat voor implementatie de maatregelen wel beschikbaar moeten zijn. Het CO₂-reductiepotentieel heeft daarna de hoogste schaal, maar is minder belangrijk dan de invloed en beschikbaarheid. Het CO₂-reductiepotentieel kan namelijk nog zo hoog zijn, maar zonder invloed en beschikbaarheid is er geen implementatie mogelijk. Hetzelfde geldt voor de toepassingsgebieden; deze zijn wel belangrijk, maar omdat Van der Ven in alle toepassingsgebieden werkzaam is, zijn er voldoende mogelijkheden voor implementatie. De raakvlakken hebben het laagste gewicht; het is namelijk belangrijk dat het duidelijk is welke raakvlakken van toepassing kunnen zijn, maar deze hebben slechts beperkte tot geen invloed op de implementatiemogelijkheden.

De scores zijn vervolgens bij elkaar opgeteld en zo is per periode een voorkeursvolgorde ontstaan voor de te implementeren maatregelen. De tabel in **bijlage 5** toont de 15 voorkeursmaatregelen per periode, afgeleid van de MCA. Ook is voor elke doelstelling de bijbehorende voorkeursmaatregel vermeld.

Voor de komende periode (2024-2025) is het essentieel om in te zetten op klinkervervanging door bijvoorbeeld hoogovenslak, vliegas en kalksteenmeel, waarvan het CO₂-reductiepotentieel erg hoog is. Deze

grondstoffen zijn momenteel overvloedig beschikbaar in Nederland en worden al veelvuldig gebruikt. Bovendien kan Van der Ven hier een redelijke invloed op uitoefenen, door bijvoorbeeld in gesprek te gaan met de opdrachtgever. Hetzelfde geldt voor het gebruik van secundaire grondstoffen. Ook is het cruciaal om in te zetten op materiaalbesparing door slim te ontwerpen en op verduurzaming tijdens zowel het transport naar de bouwplaats als de bouwfase zelf. Er is voldoende beschikbaarheid van duurzame brandstoffen, waarop Van der Ven een redelijke invloed heeft. Ten slotte kan het gebruik van alternatieve wapening en versnellers in de productie- of bouwfase bijdragen aan het potentieel voor CO₂-reductie.

Het is goed om te weten dat Van der Ven momenteel al bezig is met de implementatie van brandstofefficiëntie, duurzaam rijgedrag en elektrisch transport. Bovendien is het noodzakelijk dat Van der Ven start met experimenteren op het gebied van hybride beton, AEC- en ECO-granulaat en het hergebruik van betonnen elementen om vanaf 2025 volledig gebruik te kunnen maken van deze innovatieve toepassingen. Als laatste moeten leveranciers worden geselecteerd op een duurzaam productieproces en moeten er pilots worden gedraaid met een slimme bouwplanning en een hogere eindsterkte.

In de periode vanaf 2025 tot 2030 is een verschuiving zichtbaar in de maatregel klinkervervanging door hoogovenslak en vliegashoudend cement. De verwachting is namelijk dat vanaf 2025 de beschikbaarheid van deze materialen enerzijds flink afneemt door sluiting van de kolencentrales en de verminderende staalproductie. Anderzijds is er veel meer vraag naar deze materialen. Daarom is het van belang om naast de genoemde maatregelen uit de periode tot 2025 in te zetten op het gebruik van gerecyclede cementsteen en beton zonder cement, namelijk geopolymeren. Deze innovaties bevinden zich momenteel in de ontwikkelingsfase, maar naar verwachting zullen ze operationeel zijn in de periode van 2025 tot 2030. Hetzelfde geldt voor het gebruik van waterstof als brandstof en systemen voor een slimme transportplanning.

Vanaf 2030 is de verwachting dat de eerste cementfabrieken zijn voorzien van een CCU/S installatie, waarmee CO₂, die vrijkomt bij de productie van klinker wordt afgevangen en opgeslagen, of wordt toegepast in nieuw beton als grondstof (Carbstone). Hiermee zal de CO₂-footprint van Portlandcement flink dalen.

Het behalen van de meeste CO₂-reductie is mogelijk door de genoemde maatregelen te combineren binnen de betonketen. Daarnaast kan een CO₂-tax bijdragen aan een versnelling van het op de markt brengen van innovaties. De maatregelen: nieuwe cementsoorten, CO₂-reductie in de staalindustrie, de toepassing van puzzolanen, AEC-vulstof en olifantsgras, optimalisatie van de korrelpakking, zelf helend beton, levensduurverlenging, betonkernactivering en verduurzaming in het sloopproces komen niet terug als voorkeursmaatregelen. Dit heeft te maken met een combinatie van de criteria: weinig CO₂-reductiepotentieel, weinig invloed door Van der Ven en onvoldoende beschikbaarheid in Nederland. Op kleine schaal (project specifiek), zouden deze maatregelen wel kunnen bijdragen in combinatie met de voorkeursmaatregelen, zeker als het gaat over grondstoffen voor beton.

7.3 Implementatie

Voor de uitvoering van de eerder genoemde maatregelen is een gedetailleerd implementatieplan opgesteld, dat in [bijlageboekje 5](#) is opgenomen. Ter ondersteuning van de verschillende fasen in een project, waaronder de tender-, inkoop- en werkvoorbereiding-, uitvoerings- en evaluatiefase, zijn de implementatiestappen omgezet in gedetailleerde stappenplannen en schema's voor de betreffende afdelingen. Deze documenten bevatten uitgebreide uitleg over de te volgen procedures. Bovendien zijn er diverse hulpmiddelen ontwikkeld voor deze werkwijze, waaronder voorbeelden die kunnen worden geïntegreerd in het Plan van Aanpak met betrekking tot CO₂-reductie van beton en aanvullingen op de

inkoopovereenkomst met betonleveranciers en onderaannemers. In hoofdstuk 9: "Vervolgstappen", wordt een verdere toelichting gegeven op het implementatieplan.

De registratie- en monitoringstool is van essentieel belang om te kunnen aantonen dat de doelstellingen uit dit onderzoek worden behaald en er dus implementatie van de maatregelen plaatsvindt. Het gebruik van deze tool is daarom ook opgenomen in de stappenplannen, met daarbij een handleiding voor het werken met deze tool, alsmede een standaardbrief voor het aanleveren van LCA-gegevens voor fase A1-A3 door leveranciers. De registratie- en monitoringstool is in **bijlageboekje 4** opgenomen en wordt verder toegelicht in hoofdstuk 8.

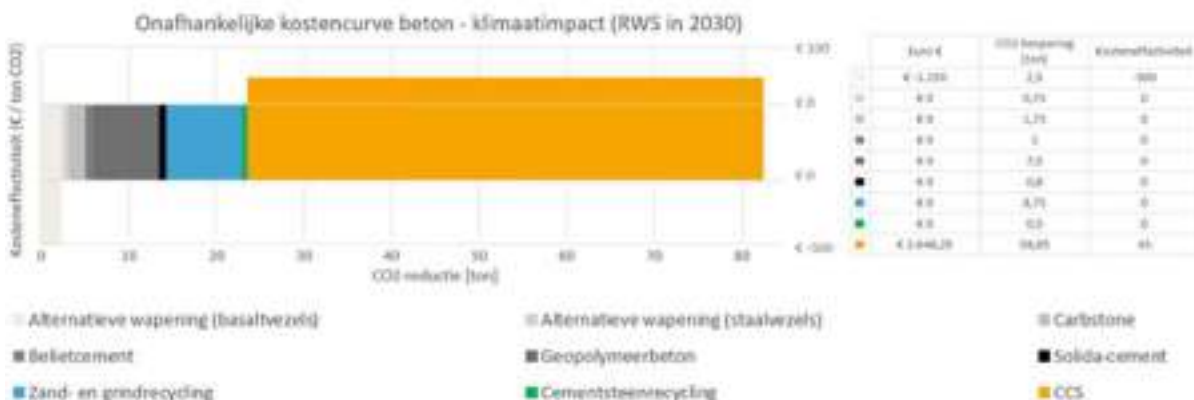
7.4 Kosten en baten

Een methode om de kosten en de baten met elkaar te vergelijken is de kostencurves methode. De kostencurves methode is een methode om kosteneffectiviteit van milieumaatregelen te berekenen. In een kostencurve is de kosteneffectiviteit weergegeven als functie van de milieueffecten (Rijkswaterstaat, sd). In dit onderzoek is de kosteneffectiviteit als volgt berekend:

$$\text{Kosteneffectiviteit} = \frac{\text{Meerkosten van innovatie}}{\text{Vermeden CO}_2 \text{ emissies [ton]}}$$

In figuur 21 is voor de periode vanaf 2030 de onafhankelijke kostencurve opgesteld voor verschillende te implementeren maatregelen in opdracht voor Rijkswaterstaat, door het onafhankelijke onderzoeksinstituut CE Delft. De figuur moet op de volgende manier gelezen worden:

- ▶ Op de horizontale as is de hoeveelheid van de maatregel of innovatie weergegeven die wordt toegepast, in tonnen CO₂-emissies vermeden of verminderd.
- ▶ Op de verticale as zijn de kosten weergegeven van de verschillende maatregelen of innovaties, uitgedrukt in euro per ton CO₂-emissie vermeden.
 - Positieve waarde verticaal: positieve kosteneffectiviteit = hogere meerkosten t.o.v. CO₂-reductie;
 - Neutrale waarde verticaal: neutrale kosteneffectiviteit = meerkosten zijn gelijk aan de CO₂-reductie;
 - Negatieve waarde verticaal: negatieve kosteneffectiviteit = lagere meerkosten t.o.v. CO₂-reductie.



Figuur 21: Onafhankelijke kostencurve beton – Klimaatimpact in 2030
Aangepast overgenomen uit Kostencurves Beton 2020 (p.51) door CE Delft, 2021. Geraadpleegd op 1 december 2023, van (<https://ce.nl/publicaties/kostencurves-en-circulariteit-beton/>). Copyright 2021, CE Delft.

De verwachting is dat in 2030 de kosten voor het implementeren van CO₂-reducerende maatregelen opwegen tegen de CO₂-uitstoot, oftewel de baten, omdat alles op 0 staat. Dit heeft grotendeels te maken

met de opschaling van de innovaties tussen 2025 – 2030, waardoor ze vanaf 2030 tegen een marktprijs, oftewel de richtprijs voor beton op dat moment, op de markt te brengen zijn. De kosteneffectiviteit van deze maatregelen is handmatig ingesteld op een waarde van 0 per kubieke meter, aangezien het reductiepotentieel anders niet zichtbaar is in de figuur (CE Delft, 2021, p. 50).

De grafiek laat duidelijk zien dat er twee innovaties zijn waarvan de CE Delft verwacht dat de kosten zullen wijzigen. Het lijkt erop dat de kosten naar verwachting zullen dalen bij het gebruik van basaltvezelstaven in constructief beton vergeleken met conventionele wapening. Aan de andere kant zullen de kosten van beton waarschijnlijk stijgen bij het implementeren van Carbon Capture and Storage (CCS) bij cementklinkerproductie, vanwege de nodige investeringen voor de cementfabrikanten. Het is echter opmerkelijk dat CCS bij cementklinkerproductie aanzienlijk potentieel heeft voor reductie, zowel wat betreft klimaatimpact als de MKI (CE Delft, 2021, p. 48). Maatregelen zoals materiaalbesparing, hergebruik van elementen en verduurzaming tijdens de productie-, transport- en bouwphase van beton zijn niet in de kostencurve opgenomen, omdat deze ten eerste project specifiek zijn en deze verduurzamingsopties in de projectfasen voor 2030 naar verwachting al operationeel zijn.

Voor de periodes 2024-2025 en 2025-2030 zijn prognoses opgenomen wat betreft de kosteneffectiviteit, omdat hier geen kostencurves van beschikbaar zijn in het rapport van de CE Delft:

Voor de periode 2024 – 2025 ziet de kosteneffectiviteit er goed uit. Maatregelen zoals klinkervervanging door hoogovenslak, vliegas en kalksteenmeel en het toepassen van secundaire grondstoffen zijn verkrijgbaar voor de marktprijs en leveren CO₂-reductie op waardoor de kosteneffectiviteit zelfs negatief kan zijn. Materiaalbesparing door slim te ontwerpen is in de ontwerpfase van een project arbeidsintensiever en dus ook kostenverhogend. Maar, in de bouwphase worden er kosten en dus ook CO₂ bespaard door de materiaalbesparing, waardoor de kosteneffectiviteit neutraal is. Hetzelfde geldt voor het gebruik van duurzame brandstoffen, welke iets duurder kunnen zijn. Maar door de CO₂-besparing zal de kosteneffectiviteit uiteindelijk neutraal tot negatief zijn. Voor de verduurzaming van de processen moeten er ook investeringen worden gedaan, maar uiteindelijk worden kosten en CO₂ bespaard. Voor een slimme bouwplanning met hogere eindsterkte wordt er verwacht dat de kosteneffectiviteit positief is, omdat bouwtijdverlenging behoorlijke kosten met zich meebrengt. Tenzij er in deze tijd andere werkzaamheden op de bouwplaats doorgang kunnen vinden. Voor opkomende innovaties geldt momenteel ook dat de kosteneffectiviteit behoorlijk positief is, omdat ze niet opgeschaald zijn en daardoor ook erg duur zijn.

Voor de periode 2025 – 2030 is de kosteneffectiviteit enerzijds positief (negatieve kosten) omdat de maatregelen uit de periode hiervoor opgeschaald worden. Echter geldt dit niet voor de klinkervervanging, deze zullen in kosteneffectiviteit positiever worden vanwege schaarste aan de vervangers. Voor de innovaties wordt een verloop verwacht van positieve kosteneffectiviteit in 2025 naar negatieve of neutrale kosteneffectiviteit in 2030. Denk hierbij aan innovaties zoals cementsteen recycling, waterstof als brandstof en alkalische bindmiddelen zoals geopolymere. Daarnaast is de kosteneffectiviteit nog onzeker omdat er mogelijk een CO₂-tax aan zit te komen. In dat geval wordt de kosteneffectiviteit negatief.

Daarnaast moet de extra benodigde arbeid nog meegerekend worden voor registratie en monitoring. Deze is lastig uit te drukken in kosteneffectiviteit, omdat er niet direct CO₂ mee bespaard wordt, maar registratie en monitoring wel nodig is voor implementatie van de maatregelen en het aantoonbaar halen van de doelstellingen uit dit onderzoek. In de onderstaande tabel is een inschatting gemaakt van de extra kosten voor de registratie en monitoring per jaar. Voor de urenbesteding voor het invullen van de stortplannen en

formulieren is uitgegaan van 4 projecten met toepassingen van beton(producten) per week. De tijdsbesteding per eenheid is in de tabel weergegeven.

Tabel 5
 Kosten arbeid t.b.v. implementatie

Kosten arbeid					
Arbeid	Tarief / uur	Omschrijving werkzaamheden	Uren / week	Kosten / week	Kosten / jaar
Duurzaamheidscoördinator		Implementatie plan, bijhouden registratie- en monitoring	4		
KAM-coördinator		Divers	2		
Uitvoerder		Invullen stortformulier	1 (0,25 p/e)		
Werkvoorbereider		Invullen stortplan	2 (0,5 p/e)		
Externe adviseur		Advies voorbereidingsfase	2		
Totaal			11		

De bovenstaande tabel heeft wel een kanttekening. De extra uren voor de KAM-coördinator, uitvoerder en werkvoorbereider zullen niet resulteren in extra uren per werkweek, waardoor het maar de vraag is of deze geteld moeten worden. Dit geldt niet voor de duurzaamheidscoördinator, aangezien deze positie nog moet worden ingevuld, en voor de externe adviseur, die nog moet worden gecontracteerd. Deze tabel moet daarom vooral een indicatie geven van de bestede uren voor registratie- en monitoring. Bovendien zijn de overige implementatiestappen voor bijvoorbeeld de werkvoorbereider of de uitvoerder niet opgenomen in de tabel. Dit komt doordat deze stappen reeds aanwezig waren in het proces, maar nu specifiek zijn uitgewerkt met betrekking tot beton. Als laatste zijn er nog eventuele opleidingskosten voor de cursussen CO₂-arm aanbieden / uitvragen en de cursus Basiskennis beton. Omdat het nog niet zeker is of deze cursussen daadwerkelijk zullen plaatsvinden, is er uitgegaan van een verwachte kostenpost van €10.000,00. Vanwege de onzekerheid is deze kostenpost niet opgenomen in de tabel.

7.5 Conclusie

Uit dit hoofdstuk kunnen enkele conclusies worden getrokken die kunnen worden meegenomen in het implementatieplan en de vervolgstappen voor Van der Ven en de samenwerking voor de partners:

- ▶ In de komende periode (2024-2025) is het van belang om in te zetten op klinkervervanging, het gebruik van secundaire grondstoffen, materiaalbesparing en verduurzaming van processen;
- ▶ Daarna (2025-2030) moet er door een verschuiving in de maatregel van klinkervervanging worden ingezet op innovaties, zoals gerecyclede cementsteen, Geopolymeerbeton en waterstofbrandstof;
- ▶ Na 2030 moet er worden ingezet op CO₂-afvang en -opslag (CCU/S), bijvoorbeeld d.m.v. Carbstone;
- ▶ De kosteneffectiviteit zal naar verwachting tussen 2025-2030 veranderen van positief naar negatief of neutraal;
- ▶ Door combinatie van maatregelen en samenwerking in de keten kan de meeste CO₂-reductie worden behaald. Een CO₂-tax kan bijdragen aan de versnelling van innovaties op de markt.

8. Registratie en monitoring

Om de implementatie van de vastgestelde maatregelen voor CO₂-reductie in de betonketen te monitoren, is het essentieel om de CO₂-uitstootgegevens van beton in het vervolg te gaan registreren. Dit is tevens van wezenlijk belang om te kunnen verifiëren of de doelstellingen van dit onderzoek zijn behaald. Deelvraag 6: “Hoe kan de uitstoot van CO₂ door beton geregistreerd en gemonitord worden?” staat in dit hoofdstuk centraal. In dit hoofdstuk zullen eerst de mogelijkheden voor registratie- en monitoring worden onderzocht, waarna er een beroepsproduct zal worden opgesteld voor Van der Ven om de CO₂-uitstoot van beton te registreren en te monitoren. Ook zal de maximaal haalbare CO₂-reductie in de betonketen worden bepaald. Dit hoofdstuk is in lijn met de ‘Check-fase’ en de ‘Act-fase’ van de PDCA-cyclus, waarbij de voortgang van de geïmplementeerde maatregelen wordt gemeten en gemonitord, en indien nodig bijgestuurd wordt.

8.1 Methodieken en reken tools voor registratie en monitoring

Milieugerichte Life Cycle Analysis (LCA) is een methode die wordt gebruikt om de effecten van producten en menselijke activiteiten op het milieu te analyseren. Hierbij worden speciale rekenmodellen toegepast. De LCA bekijkt de volledige levenscyclus van een product of activiteit, beginnend bij de grondstoffenwinning, door de productie en (her)gebruik, tot aan de afvalverwerking. Met andere woorden, het omvat de gehele levensduur, van de wieg tot het graf. Omdat dit een keten van processen omvat, wordt LCA gezien als een vorm van ketenanalyse (RIVM, 2018). In figuur 12 van hoofdstuk 4 is de LCA van beton weergegeven.

Het resultaat van een LCA-onderzoek leidt tot een milieuprofiel, vergelijkbaar met een beoordelingslijst met milieueffecten. Door het milieuprofiel te analyseren, wordt duidelijk welke milieueffecten een overheersende rol spelen in de levenscyclus. Op basis hiervan kunnen prioriteiten worden gesteld en gericht actie worden ondernomen om deze effecten aan te pakken. Bovendien maakt LCA het mogelijk om vooraf te berekenen of een specifieke maatregel doeltreffend zal zijn. Wanneer het wordt gecombineerd met aanvullende tools, verschaft LCA concreet inzicht in mogelijke aanpassingen voor in de bedrijfsvoering. Tevens brengt het de consequenties van elk alternatief systematisch in beeld (RIVM, 2018). Een LCA kan eveneens worden uitgedrukt in:

- ▶ **Milieukostenindicator (MKI):** resultaat van een LCA van alle milieueffecten, uitgedrukt in euro's;
- ▶ **Environmental Product Declaration (EPD):** een overzicht van de LCA voor een specifiek product;
- ▶ **Milieu Prestatie Gebouwen (MPG):** een optelsom van de LCA-waarden van producten / materialen in een gebouw, uitgedrukt in schaduwkosten van een materiaal, gedeeld door de levensduur en de oppervlakte van het gebouw (RVO, 2023).

Voor het berekenen van de LCA zijn er diverse reken tools, zoals DuboCalc, Ecochain en de Ontwerptool Groen Beton. DuboCalc is een veelgebruikte reken tool voor het bepalen van de MKI-waarde, en wordt met name gebruikt door opdrachtgevers en potentiële opdrachtnemers om varianten te onderzoeken en om (EMVI) aanbestedingen van GWW-werken te schrijven en te beoordelen (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 78-86). Ecochain is een applicatie waarmee LCA berekeningen kunnen worden gemaakt op bedrijfsniveau tot aan productniveau, en wordt met name gebruikt door leveranciers en producenten. De Ontwerptool Groen Beton van het Betonhuis is speciaal ontwikkelde tool voor de betonketen om de LCA te berekenen van betonmortel en betonproducten. Veel data uit de Ontwerptool Groen Beton is afkomstig van de

Nationale Milieudatabase (NMD), een database gevuld met eenduidige milieuverklaringen, onderverdeeld in drie categorieën data. Categorie 1 data is product specifieke, merk gebonden, getoetste data. Categorie 2 data is het branchegemiddelde, merk ongebonden en getoetste data. Categorie 3 data is het branchegemiddelde, merk ongebonden en ongetoetste data. Vanwege de onzekerheid in de waarden, is er een marge van 30% toegepast op de MKI-waarde van deze Categorie 3 data (Nationale Milieu Database, sd).

Naast de LCA zijn er nog andere mogelijkheden voor het meten van duurzaamheid in een organisatie of een project. De Concrete Sustainability Council (CSC) is specifiek ontwikkeld voor organisaties binnen de betonsector die zich actief inzetten voor de verduurzaming in de betonketen. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de herkomst van grondstoffen, de wijze van productie en de verschillende economische, maatschappelijke en milieuvriendelijke invloeden. Een CSC-certificaat wordt toegekend op de niveaus brons, zilver, goud en platina (KIWA, sd).

De CO₂-prestatieladder is een managementsysteem dat veel wordt gebruikt door aannemers. De CO₂-prestatieladder bestaat uit 5 niveaus. Tot en met niveau 3 richt een organisatie zich op de uitstoot van de eigen activiteiten (en de projecten). Vanaf niveau 4 en 5 wordt er ook gewerkt aan het verminderen van de CO₂-uitstoot in de keten en sector. Daarnaast wordt de CO₂-prestatieladder ook als aanbestedingsinstrument gebruikt, certificatie kan namelijk resulteren in gunningsvoordeel op de inschrijfprijs. Van der Ven is gecertificeerd op niveau 5 van de CO₂-prestatieladder (CO₂-prestatieladder, 2020).

Als laatste zijn BREEAM-NL, de MVO-prestatieladder en de ESG instrumenten om duurzaamheid te meten in een organisatie. Omdat deze instrumenten niet specifiek betrekking hebben op CO₂ of beton zijn deze niet interessant voor dit onderzoek.

8.2 Registratie- en monitoringstool

Voor het registreren en monitoren van de CO₂-uitstoot die wordt veroorzaakt door de toepassing van betonmortel en betonproducten op de projecten van Van der Ven is er een registratie- en monitoringstool opgesteld. Er is gekozen voor de Ontwerptool Groen Beton van het Betonhuis. Enerzijds omdat veel leveranciers en producenten van beton(producten) van Van der Ven werken met deze tool, aangezien deze tool specifiek voor beton is (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 18-30). Anderzijds omdat specifieke processen op de bouwplaats kunnen worden toegevoegd, en er naast betonmengsels ook betonproducten en gebouwdelen kunnen worden doorgerekend.

De online tool van het Betonhuis is vertaald in een Excel werkmap, onderverdeeld in verschillende werkbladen. Er zijn twee varianten opgesteld, een variant met én zonder koppeling met het keuringsplan. Door de gegevens uit de Ontwerptool Groen Beton te koppelen aan de reeds verplichte keuringsformulieren, is het proces voor het berekenen van de CO₂-uitstoot vereenvoudigd. Hierdoor kost het niet veel extra tijd. Daarnaast is het proces vereenvoudigd door de toepassing van drop down menu's, de instructies bij het selecteren van een cel en de lichtgrijze kleur voor een in te vullen cel.

Het eerste werkblad van de tool bevat essentiële informatie voor het correct invullen van de registratie- en monitoringstool. Vervolgens bestaan de volgende drie werkbladen uit keuringsformulieren⁸, allereerst het formulier stortplan insitu. Dit is het eerste deel van de invulpagina in het geval van het insitu storten van beton op de bouwplaats, en is gekoppeld aan het stortplan. Dit formulier dient ingevuld te worden door de

⁸ In het geval van de variant mét koppeling keuringsplan

werkvoorbereider, waarmee LCA fase A1 t/m A3 wordt berekend. Vervolgens is het werkblad stortformulier insitu het tweede deel van de invulpagina, gekoppeld aan het stortformulier. Dit formulier dient ingevuld te worden door de uitvoerder, waarmee LCA fase A4 en A5 worden berekend. Het vierde werkblad is het formulier prefab, dit is de invulpagina in het geval van gebruik van prefab betonnen elementen op de bouwplaats, en dient ingevuld te worden door de werkvoorbereider (LCA fase A1 t/m A3), en de uitvoerder (LCA fase A4 en A5). Door zowel de formulieren voor insitu als voor prefab in te vullen kan er een vergelijking worden gemaakt tussen beide varianten, en op basis van duurzaamheid een keuze worden gemaakt.

Werkblad nummer vijf bestaat uit het output dashboard, op deze pagina worden de resultaten weergegeven van de CO₂-uitstoot van het beton na berekening, inclusief grafieken en diagrammen. In het standaard dashboard is naast de CO₂-uitstoot per m³ en totaal per LCA fase van de betonmortel en het prefab product een vergelijking weergegeven met het gemiddelde betonmengsel. Op basis van deze gegevens is vergeleken hoeveel CO₂-uitstoot er gereduceerd wordt met het ingevoerde betonmengsel of product, en wordt er een kleur toegekend op basis van de doelstelling en ambitie van dit afstudeeronderzoek. Het standaard dashboard is in figuur 22 weergegeven. Onder het standaard dashboard zijn gedetailleerde gegevens weergegeven voor de relevante LCA fasen A, C en de transportfasen.



Figuur 22: Standaard dashboard CO₂-uitstoot, registratie- en monitoringstool

Werkblad nummer zes is de invulpagina voor de totale CO₂-uitstoot per jaar. Na elke toepassing met beton dient de hoeveelheid beton en bijbehorende (berekende) CO₂-uitstoot onder het juiste project te worden ingevuld. Met behulp van diagrammen en grafieken worden de ingevulde gegevens weergegeven. Ook zijn er vergelijkingsgrafieken ten opzichte van voorgaande jaren en de gemiddelde CO₂-uitstoot beschikbaar.

De werkbladen nummer 7a t/m 7f bevatten de inputmodellen per LCA fase. Hierin worden de gegevens die zijn ingevuld in de keuringsformulieren doorgerekend, en zijn daarom beveiligd. Hierin wordt ook automatisch de sloop- en hergebruikfase doorgerekend op basis van de hoeveelheid ingevulde materialen. Wanneer de variant zonder koppeling met het keuringsplan wordt gebruikt dienen deze inputformulieren ingevuld te worden. Werkblad nummer 8 bevat alle gebruikte datasets, afkomstig van het Betonhuis. In het implementatieplan, [bijlageboekje 5](#), is tevens een werkinstructie opgenomen voor het gebruik van de tool. Voor de toekomstbestendigheid van de registratie- en monitoringstool is het belangrijk dat de datasets regelmatig geüpdatet worden. Hierbij hoort het aanpassen van data, het toevoegen van nieuwe data en het toevoegen van nieuwe innovaties. Daarnaast moet werkblad zes, de invulpagina voor de totale CO₂-uitstoot in de betonketen door Van der Ven, beheerd worden. Hierin zou bijvoorbeeld een duurzaamheidscoördinator een rol in kunnen spelen en daarom zal dit worden meegenomen in het implementatieplan.

8.3 Haalbare CO₂-reductie

In dit hoofdstuk staat deelvraag 7 centraal: “Wat is de maximaal haalbare CO₂-reductie van beton, en wat is praktisch haalbaar en realistisch voor Van der Ven?”. Het eerste deel van deze vraag is beantwoord naar aanleiding van gesprekken met “koplopers” in innovaties in de verduurzaming van beton. Bovendien zijn de bevindingen voorlopig, en nog niet bevestigd en gevalideerd. Dit is dan ook de reden dat hoofdstuk 8.3.1 vertrouwelijke informatie bevat (persoonlijke communicatie, 19 december 2023). Omdat de cijfers nog niet gevalideerd zijn, is het dus nog niet mogelijk om de maximaal haalbare CO₂-reductie met de opgestelde registratie- en monitoringstool te berekenen. Daarom zijn de onderstaande gegevens gebaseerd op verwachtingen.

8.3.1 Theoretische haalbare CO₂-reductie

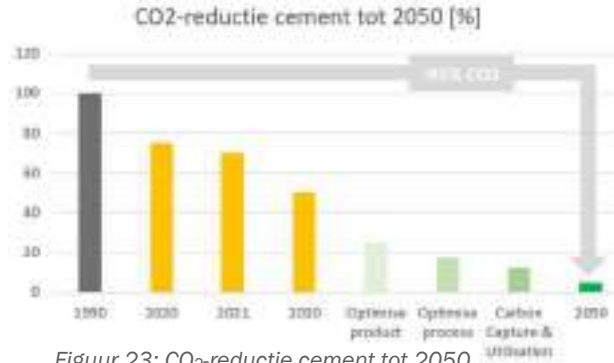
In de ketenanalyse in hoofdstuk 4 is eerder geconstateerd dat de meeste CO₂-reductie haalbaar is in LCA fase A1-A3. Deze fasen zijn namelijk verantwoordelijk voor minimaal driekwart van de totale CO₂-uitstoot in de levenscyclus van beton. Dit is daarom dan ook de fase waarin de echte transitie moet plaatsvinden. Om deze reden ligt in dit hoofdstuk de nadruk specifiek op deze fasen.

- ▶ [Redacted]
- ▶ [Redacted]
- ▶ [Redacted]
- ▶ [Redacted]
- ▶ Mengsels van gecalcineerde en geactiveerde klei. Deze mengsels zijn momenteel door TNO in ontwikkeling, en daarom is er nog niets te zeggen over de hoeveelheid CO₂ die hiermee gereduceerd kan worden. De eerste resultaten zijn veelbelovend en passen binnen de huidige wet- en regelgeving.

De meeste CO₂-reductie kan worden behaald door een combinatie van maatregelen, zoals hierboven is benoemd. Deze maatregelen zijn over het algemeen ook terug te vinden zijn in de maatregellijst. De toepassing van een combinatie van de hierboven genoemde maatregelen is echter nog niet tot onvoldoende

onderzocht. Naar verwachting zijn er diverse combinaties mogelijk met een maximale CO₂-reductie. De verwachte CO₂-reductie in LCA fase A1-A3 is 75-95% met:

- ▶ Geopolymeerbeton, in combinatie met secundaire toeslagstoffen die mogelijk ook nog CO₂ opnemen;
- ▶ Recycled Concrete Fines (RCF), in combinatie met secundaire toeslagstoffen (zand, grind, water etc.);
- ▶ Hybride beton, waarin het nog aanwezige cement wordt vervangen door Recycled Concrete Fines, in combinatie met secundaire toeslagstoffen;
- ▶ Variant Heidelberg Materials (zie figuur 23 en onderstaand), waarbij alternatieve en innovatieve bindmiddelen worden geactiveerd met een activator van slakken of RCF (in plaats van traditioneel Portlandcement), gecombineerd met secundaire toeslagstoffen die mogelijk ook nog CO₂ opnemen.



Figuur 23: CO₂-reductie cement tot 2050
Aangepast overgenomen van: Betoniek door M. Bruin, 2023. Geraadpleegd op 20 december 2023 van <https://www.betoniek.nl/binding-co2-bij-hergebruik-cementsteen> Copyright 2023, Betoniek

Heidelberg Materials hanteert een strategie met drie pijlers om specifiek de CO₂-uitstoot van cement tot 95% te verminderen ten opzichte van 1990 in 2050 (Bruin, 2023):

1. **Optimalisatie product:** ontwikkeling van alternatieve, innovatieve bindmiddelen met andere Supplementary Cementitious Materials (SCM): grondstoffen die door de portlandcementklinker worden geactiveerd, waarbij circulariteit (met name van beton) een van de speerpunten is;
2. **Optimalisatie proces:** gebruik van alternatieve brandstoffen bij de productie van de Portlandcementklinker;
3. **CCU/S:** Carbon Capture, Utilisation and Storage.

Door bovengenoemde maatregelen te combineren met emissievrij transport is een maximaal haalbare CO₂-reductie in de levenscyclus van beton te realiseren. Hierbij horen wel een aantal randvoorwaarden, om te beginnen moet er wet- en regelgeving ontwikkeld worden voor innovatieve bindmiddelen, die niet gebaseerd zijn op de grondstof klinker. Daarnaast is het nodig om de innovaties verder door te ontwikkelen. Als laatste zijn de bovengenoemde maatregelen niet in elke toepassing van beton mogelijk, en daarom moet er per toepassing een specifieke afweging worden gemaakt voor de mogelijkheden. De verwachting is bijvoorbeeld dat voor niet-constructieve, ongewapende prefab elementen een CO₂-reductie van 100% haalbaar is, door de toevoeging van CO₂ in het element (Carbstone) (Aanen, Communicatie, 2023).

Na het onderzoek naar wat momenteel maximaal haalbaar is, blijkt dat de toepassing van een Geopolymeerbeton met 30% secundair materiaal aan de prestatie-eisen voldoet. De bijbehorende MKI-berekening van betonleverancier ██████████ is opgenomen in [bijlageboekje 6](#) (Aanen, Communicatie, 2023, p. 24). Hiermee kan een reductie van maximaal 40% CO₂-uitstoot worden bereikt in LCA fase A1-A3 in vergelijking met een CEM III/B. Het implementeren van emissieloos transport kan leiden tot verdere vermindering van de totale CO₂-uitstoot in de gehele LCA. De prestatie-eisen zijn essentieel om aan de bovengenoemde randvoorwaarden te voldoen.

8.3.2 Praktische haalbare CO₂-reductie

De praktische haalbare en realistische CO₂-reductie van beton door Van der Ven is geheel afhankelijk van het project. Elk project kent namelijk verschillende toepassingen, met diverse eigenschappen, voor beton. Bovendien bepaalt de opdrachtgever in hoeverre zij de CO₂-reductie in de betonketen als belangrijk beschouwen en dit kunnen integreren in het project. Aangezien Van der Ven diverse projecten uitvoert met uiteenlopende betontoepassingen, is het belangrijk om te kijken naar wat over het geheel genomen haalbaar is.

Het eerder genoemde Geopolymeerbeton zal zeker uitvoerbaar zijn voor Van der Ven, maar niet in alle projecten, afhankelijk van de specifieke toepassingen en de diverse opdrachtgevers. In situaties waar de toepassing van Geopolymeerbeton geschikt is en de opdrachtgevers meewerken, zal dit de maximaal haalbare oplossing zijn met betrekking tot CO₂-reductie voor Van der Ven.

Realistisch gezien is momenteel voor Van der Ven een combinatie van de maatregelen klinkervervanging, het gebruik van secundaire grondstoffen, materiaalbesparing en verduurzaming van processen de meest haalbare oplossing. Materiaalbesparing is project specifiek en daarom niet over het geheel te beoordelen. Onderstaande maatregelen zijn vrijwel in elke toepassing mogelijk, ongeacht de opdrachtgever of de specifieke toepassing:

- ▶ Toepassing van een CEM III/A (klinkervervanging);
- ▶ Toepassing van 30% betongranulaat (secundaire grondstoffen);
- ▶ Verduurzaming van de processen in LCA fase A4 en A5.

In de registratie- en monitoringstool zijn bovenstaande gegevens verwerkt volgens de uitgangspunten van de ketenanalyse voor betonmortel, zonder rekening te houden met wapening per m³ beton. Hieruit blijkt dat er in vergelijking met het gemiddelde betonmengsel 5% CO₂-uitstoot over de gehele LCA gereduceerd wordt. Voor Van der Ven is dit percentage momenteel de minimale haalbare CO₂-reductie in elk project. Daarnaast is het essentieel om project specifiek te bepalen waar verdere reductiemogelijkheden liggen om dit percentage te verhogen. Met de opkomende innovaties in het vershiet is het in de toekomst mogelijk om nog meer CO₂-reductie te realiseren, welke praktisch haalbaar en realistisch is voor Van der Ven.

8.4 Conclusie

In dit hoofdstuk stonden de volgende twee deelvragen centraal: "Hoe kan de uitstoot van CO₂ door beton geregistreerd en gemonitord worden?" en "Wat is de maximaal haalbare CO₂-reductie van beton en wat is praktisch haalbaar en realistisch voor Van der Ven?". Met betrekking tot deze deelvragen kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- ▶ Milieugerichte Life Cycle Analysis (LCA) is een methode voor het in kaart brengen van de impact van producten en menselijke activiteiten op het milieu, waarbij de volledige levensduur van een product of een activiteit wordt onderzocht. Hiervoor zijn diverse rekentools beschikbaar;
- ▶ LCA kan eveneens worden uitgedrukt in MKI, EPD of MPG;
- ▶ Naast een LCA zijn er nog andere mogelijkheden voor het meten van duurzaamheid in een project of organisatie, zoals de CO₂-prestatieladder en de Concrete Sustainability Council (CSC);
- ▶ Voor de registratie- en monitoring van de CO₂-uitstoot is de Ontwerptool Groen Beton vertaald in een Excel werkmap, welke gekoppeld is aan het keuringsplan voor beton van Van der Ven;
- ▶ Naar verwachting is er een maximale CO₂-reductie mogelijk in LCA fase A1-A3 van 75-95%, door een combinatie van de maatregelen: hybride- of geopolymeerbeton, CO₂-capture in toeslagstoffen of de

- toepassing van (gecarbonateerde) Recycled Concrete Fines, en secundaire toeslagstoffen;
- ▶ Door bovengenoemde maatregelen te combineren met emissievrij transport is een maximaal haalbare CO₂-reductie in de gehele levenscyclus van beton te realiseren;
 - ▶ Randvoorwaarden voor de maximale haalbare CO₂-reductie zijn: ontwikkeling van wet- en regelgeving voor innovatieve bindmiddelen, de doorontwikkeling van innovaties en een specifieke afweging per betontoepassing. Hiervoor kan beton op basis van prestatie-eisen dienen als middel om innovaties nu al door te voeren;
 - ▶ Momenteel is met een toepassing van Geopolymeerbeton met 30% secundair materiaal, welke voldoet aan de prestatie-eisen, een maximale CO₂-reductie haalbaar van 40% in LCA fase A1-A3 in vergelijking met een CEM III/B;
 - ▶ Om 95% CO₂-uitstoot van cement in 2050 (ten opzichte van 1990) te reduceren moet eerst worden ingezet op alternatieve bindmiddelen (optimalisatie product), vervolgens op alternatieve brandstoffen (optimalisatie proces) en als laatste op CCU/S om tot "net zero cement" te komen;
 - ▶ Voor Van der Ven is het bovenstaand genoemde Geopolymeerbeton zeker uitvoerbaar, dit is dan ook de maximaal haalbare oplossing met betrekking tot CO₂-reductie. Echter is dit niet toepasbaar op alle projecten met betrekking tot de verschillende toepassingen en opdrachtgevers;
 - ▶ Voor Van der Ven is er een CO₂-reductie over de gehele levenscyclus van beton van minimaal 5% ten opzichte van het gemiddelde betonmengsel praktisch haalbaar en realistisch met de toepassing van klinkervervanging, secundaire grondstoffen en verduurzaming van de processen. Dit is ongeacht het project, de opdrachtgever of de specifieke toepassing;
 - ▶ Daarnaast is het essentieel om project specifiek te bepalen waar verdere reductiemogelijkheden liggen om dit percentage te verhogen, welke praktisch haalbaar en realistisch zijn voor Van der Ven;
 - ▶ Met de opkomende innovaties in het verschiet is het in de toekomst mogelijk om nog meer CO₂-reductie te realiseren, welke praktisch haalbaar en realistisch is voor Van der Ven.

9. Vervolgstappen

Voor daadwerkelijke implementatie van de vastgestelde maatregelen voor CO₂-reductie in de betonketen is deelvraag 8 opgesteld. Deze laatste deelvraag luidt als volgt: “Welke stappen dient Van der Ven te nemen en op welke manier moeten onderaannemers en leveranciers gestimuleerd worden om de CO₂-uitstoot van beton te verminderen?”. In dit hoofdstuk worden de vervolgstappen voor Van der Ven uitgebreid toegelicht aan de hand van een implementatieplan (beroepsproduct). Daarnaast zal dit hoofdstuk ook ingaan op de vervolgstappen in samenwerking met de partners in de betonketen, zoals onderaannemers en leveranciers. Dit hoofdstuk is in lijn met de ‘Act-fase’ van de PDCA-cyclus, waarbij er wordt bijgestuurd op basis van de voortgang. Daarnaast spelen de GROTIK-aspecten een belangrijke rol in het implementatieplan.

9.1 Van der Ven

9.1.1 Inleiding

In [bijlageboekje 5](#) is het implementatieplan opgenomen. Het doel van het implementatieplan is om de CO₂-reducerende maatregelen die genomen moeten worden daadwerkelijk in de praktijk te brengen bij Van der Ven en hun partners in de betonketen, met als uiteindelijk doel het behalen van de reductiedoelstelling van dit onderzoek. Dit doel moet meetbaar worden gemaakt door middel van registratie en monitoring in de daarvoor bestemde tool, en realistisch door de bijbehorende planning. Het communicatieplan moet ervoor zorgen dat het doel wordt geaccepteerd door alle betrokkenen.

Resultaatverwachting

Dit implementatieplan leidt niet tot een vastgestelde lijst van maatregelen voor een project, aangezien dit afhankelijk is van het specifieke project. In plaats daarvan dient het als een richtlijn voor de werkwijze in de verschillende projectfasen.

Met de uitvoering van dit plan worden een aantal resultaten verwacht. Zo zal de werkwijze op bepaalde vlakken veranderen en zullen er nieuwe taken bijkomen. Voor de algehele organisatie verandert met name de inhoud van bepaalde processen, dat wil zeggen de werkzaamheden, doordat in het gehele project rekening moet worden gehouden met de mogelijkheden voor CO₂-reductie in de betonketen. Daarnaast zal er één nieuwe medewerker worden aangenomen, namelijk een duurzaamheidscoördinator.

Randvoorwaarden

De opdrachtgevende organisatie, Van der Ven, dient te voldoen aan bepaalde randvoorwaarden om de implementatiestappen te kunnen uitvoeren, namelijk:

- ▶ Beschikbaarheid van vakkennis, als deze niet aanwezig is, moeten er adviseurs worden ingehuurd;
- ▶ Beschikbaarheid van medewerkers: het aannemen van een duurzaamheidscoördinator⁹;
- ▶ Beschikbaarheid van middelen en producten: dit is project specifiek, en nu niet te definiëren;
- ▶ Bereidheid van het management voor veranderingen: uit de interviews blijkt dat deze bereidheid er is, dit is opgenomen in hoofdstuk 5.1 van de scriptie en in [bijlageboekje 6](#) (interviews).

⁹ Update: 13-12-2023: de duurzaamheidscoördinator is aangenomen en start begin februari 2024

9.1.2 Implementatiestappen

In dit hoofdstuk wordt toegelicht op welke manier de implementatie activiteiten geïmplementeerd moeten worden, oftewel: de gehanteerde aanpak. Dit hoofdstuk is gestructureerd op basis van de fasen van een project, namelijk: de voorbereidingsfase, de uitvoeringsfase en evaluatiefase. Deze fasen vormen tevens de drie fasen van implementatie. De voorbereidingsfase is onderverdeeld in de tenderfase en de inkoop- en werkvoorbereiding (L. Benders & Scharwächter, 2023).

De voorbereidingsfase, de uitvoeringsfase en de evaluatiefase zijn essentiële processen voor het bevorderen van duurzaamheid in de betonketen. Daarnaast speelt de opdrachtgever een cruciale rol in deze processen. Tijdens het inschrijvingsproces worden er beslissingen genomen met betrekking tot financiën en aanpak. Vervolgens worden er in de voorbereidingsfase beslissingen genomen met betrekking tot ontwerp, materialen en partners. In de uitvoeringsfase blijft waakzaamheid geboden, ondanks een grondige voorbereiding, voor de daadwerkelijke uitvoering van de verduurzaming in de betonketen. Als laatste is de evaluatiefase is ook een zeer belangrijk proces met betrekking tot de implementatie. In het implementatieplan zijn stappenplannen opgenomen voor deze processen. Kort samengevat omvatten deze:

- ▶ **Stroomschema voor de tenderafdeling**, waarmee bij elke aanbesteding bepaald kan worden welke aanpak het meest geschikt is om duurzaamheid in de betonketen te integreren in de inschrijving;
- ▶ **Stappenplan voor de inkoop- en werkvoorbereiding**, waarin de maatregelen met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen stapsgewijs zijn geïntegreerd in het nieuwe proces;
- ▶ **Stappenplan voor de uitvoering**, waarin maatregelen omtrent CO₂-reductie in de betonketen zijn geïntegreerd in het huidige proces;
- ▶ **Stappenplan voor de evaluatie**, waarin evaluatie van de maatregelen met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen zijn geïntegreerd in het huidige proces. Daarnaast is er een nieuw proces toegevoegd, een jaarevaluatie op de implementatie van dit onderzoek.

Voor elk proces is een verantwoordelijke aangewezen. De tendermanager is verantwoordelijk voor de tenderafdeling. De projectleider van het betreffende project is verantwoordelijk voor de inkoop- en werkvoorbereiding, de uitvoering en de projectevaluatie. De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de jaarevaluatie.

Tot slot moeten alle stappenplannen worden getest in de desbetreffende projectfase om te verifiëren of ze de gewenste resultaten opleveren. Deze testmomenten zijn opgenomen in de planning van het implementatieplan.

9.1.3 Communicatieplan

Het is van groot belang dat alle betrokkenen bij de implementatie goed op de hoogte zijn, begrijpen wat hun taken zijn, de reden achter de implementatie begrijpen en weten wanneer specifieke activiteiten moeten worden uitgevoerd. Daarom is in het implementatieplan een communicatieplan opgenomen. In dit plan wordt per doelgroep bepaald welke informatie zij moeten hebben, welk doel hiermee wordt nagestreefd en welke communicatiemiddelen hiervoor worden ingezet.

9.1.4 Beheersplan

Om de implementatie in goede banen te leiden, bevat het implementatieplan een beheersplan. Dit beheersplan bevat de onderdelen planning, taakverdeling, budget en organisatie, en wordt in dit hoofdstuk kort toegelicht.

Planning en taakverdeling

In het implementatieplan is een tabel opgenomen met de taakverdeling van de activiteiten die voortvloeien uit het implementatieplan. Bij de uitvoering van het stroomschema en de stappenplannen horen onderliggende taken, die niet in deze tabel zijn vermeld. De verantwoordelijke van de bovenliggende activiteit is namelijk verantwoordelijk voor de aansturing van de juiste personen voor deze taken.

In de bijlage van het implementatieplan is de implementatieplanning opgenomen voor 2024. In deze planning zijn de onderdelen voor de uitvoering van het implementatieplan opgenomen, zoals de activiteiten uit het communicatie- en het beheerplan. In 2024 staat de uitvoering van de nulmeting centraal. Deze meting is cruciaal om aan te tonen waar Van der Ven zich bevindt zonder de implementatie van maatregelen en vormt de basis voor het aantoonbaar behalen van de reductiedoelstelling. De berekening van de scope 3 analyse is namelijk niet voldoende betrouwbaar. Het focuspunt in 2024 ligt dus voornamelijk op het uitvoeren van de nulmeting, en daarnaast op het registreren van CO₂-uitstootgegevens en het testen van het implementatieplan.

In 2025 zal de daadwerkelijke implementatie van start gaan. Dit betekent echter niet dat er in 2024 geen maatregelen kunnen worden genomen om de CO₂-uitstoot te verminderen. Deze reducerende maatregelen komen namelijk ook naar voren tijdens het testen van de stappenplannen. Het is wel belangrijk dat voor de nulmeting de oorspronkelijke cijfers, zonder de toepassing van CO₂-reducerende maatregelen, worden toegepast, om een onzuivere nulmeting te voorkomen. Bovendien is het in 2024 essentieel om pilots uit te voeren met innovaties, zoals opgenomen in het tweede deel van de planning, samen met de andere maatregelen die in deze periode worden geïmplementeerd. Dit stelt Van der Ven in staat om in 2025 met deze innovaties aan de slag te gaan. Daarnaast is er ook een planning toegevoegd vanaf het jaar 2025, specifiek voor de te implementeren maatregelen. De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de beheersing van de planning en eventuele bijsturing.

Budget

In het implementatieplan is ook een hoofdstuk budget opgenomen. Deze gegevens zijn ook vermeld in hoofdstuk 7.4. De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de budgetbeheersing.

Organisatie

In het implementatieplan is tevens de vereiste projectorganisatie en -structuur voor implementatie weergegeven. In deze figuur wordt voor elke betrokkene beschreven wat er van hen wordt verwacht.

Risico's

Tevens is er in het implementatieplan een risicoanalyse opgenomen. In de risicoanalyse zijn onder andere de randvoorwaarden en activiteiten uit het beheersplan meegenomen. De kwantificering van de risico's zijn opgesteld na versie 1 van dit implementatieplan. De vervolgens te nemen beheersmaatregelen zijn verwerkt in de huidige versie, versie 2 van het implementatieplan.

9.2 Samenwerking met de partners

Samenwerking met de partners in de betonketen is van essentieel belang om de CO₂-uitstoot van beton te verminderen. Dit is ook in lijn met SDG 17: Partnerschap om doelstellingen te bereiken. Door samen te werken met de gehele keten kan Van der Ven zijn doelstellingen op het gebied van CO₂-reductie in de betonketen behalen. Om onderaannemers en leveranciers, maar ook opdrachtgevers te stimuleren om de

uitstoot van CO₂ in de betonketen te verminderen zijn er diverse hulpmiddelen opgesteld in het implementatieplan:

- ▶ **Stroomschema voor de tenderafdeling**, waarin stapsgewijs is toegelicht hoe een opdrachtgever gestimuleerd kan worden om CO₂-reductie in de betonketen op te nemen in een aanbesteding;
- ▶ **Brief voor de leveranciers**, waarin de leveranciers of onderaannemers worden gevraagd de LCA-gegevens aan te leveren middels een standaard formulier;
- ▶ **Inkoopovereenkomst**, waarin de onderaannemer of leverancier wordt gevraagd om een voorstel te doen voor de verduurzaming in het transport naar de bouwplaats en de werkzaamheden op de bouwplaats. Tevens wordt er gevraagd om advies met betrekking op de verduurzaming van het betonmengsel of product. Omdat de offerte, naast prijs, ook op duurzaamheid beoordeeld wordt, moet dit een stimulans zijn voor een duurzame aanbieding.

In de stappenplannen ligt de nadruk op samenwerking. Het wordt aanbevolen een adviseur in te schakelen, bijvoorbeeld voor CO₂-reducerende maatregelen met betrekking tot beton in het definitief ontwerp of het Plan van Aanpak. Overleg met de opdrachtgever is essentieel voor de implementatie van deze maatregelen.

9.3 Conclusie

In dit hoofdstuk lag de nadruk op de vervolgstappen met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen voor Van der Ven. Aan de hand van het implementatieplan zijn deze vervolgstappen toegelicht, die nodig zijn voor de implementatie van dit afstudeeronderzoek. Met betrekking tot de daadwerkelijke implementatie in de organisatie van Van der Ven zijn de volgende conclusies geformuleerd:

- ▶ Het implementatieplan dient als een richtlijn voor de werkwijze in de verschillende projectfasen voor de implementatie van CO₂-reductie in de betonketen binnen Van der Ven;
- ▶ Voor implementatie dient de opdrachtgevende organisatie, Van der Ven, te voldoen aan bepaalde randvoorwaarden, zoals de beschikbaarheid van vakkennis, medewerkers en de benodigde middelen en producten. Daarnaast is er bereidheid van het management benodigd voor verandering. Uit de eerder afgenomen interviews blijkt dat deze bereidheid er is;
- ▶ Voor de tenderafdeling is een stroomschema opgenomen; dit schema geeft een visuele representatie van het nieuwe, te implementeren proces met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen. Voor de inkoop- en werkvoorbereiding, de uitvoering en de evaluatie zijn stappenplannen opgesteld. Het is van essentieel belang om deze aanpak te volgen voor de daadwerkelijke implementatie;
- ▶ In het communicatieplan, onderdeel van het implementatieplan, is per doelgroep opgenomen welke informatie zij moeten hebben, welk doel hiermee wordt nagestreefd en welke communicatiemiddelen hiervoor worden ingezet;
- ▶ Daarnaast is er een beheersplan opgesteld om de implementatie in goede banen te leiden. In het beheersplan is een planning, taakverdeling, het budget, de organisatie en risico's opgenomen;
- ▶ In 2024 staat met betrekking op implementatie de uitvoering van de nulmeting centraal. Deze meting is cruciaal om aan te tonen waar Van der Ven zich bevindt zonder de implementatie van maatregelen en vormt de basis voor het aantoonbaar behalen van de reductiedoelstelling. De nulmeting zal worden uitgevoerd met behulp van de opgestelde registratie- en monitoringstool. Vanaf 2025 zal de daadwerkelijke implementatie van start gaan;
- ▶ Voor samenwerking met de partners, met als doel CO₂-reductie in de betonketen, zijn in het implementatieplan verschillende hulpmiddelen opgesteld, zoals het stroomschema voor de tenderafdeling, een brief voor de leveranciers en aanpassingen op de inkoopovereenkomst.

10. Conclusie

In dit onderzoek is de aanpak voor CO₂-reductie in de betonketen onderzocht. Hierbij hoort de volgende hoofdvraag: *"Hoe kan de grootste CO₂-uitstoter binnen aannemingsbedrijf van der Ven: beton, gereduceerd worden, rekening houdend met de markt van de komende 10 jaar en de praktische haalbaarheid?"*. Om deze vraag te beantwoorden zijn er acht deelvragen opgesteld, onderverdeeld in vier deelonderzoeken: het in kaart brengen van de huidige situatie, de theorie in de praktijk toepassen naar de gewenste situatie, de registratie- en monitoring van de gestelde maatregelen en de conclusies en aanbevelingen (zie H1.4.4).

In het eerste deelonderzoek is de huidige situatie in kaart gebracht. Hiervoor is de huidige scope 3 analyse geanalyseerd. Uit de resultaten van deze scope-3 analyse is gebleken dat de productcategorie beton verantwoordelijk is voor meer dan 65% van de totale uitstoot van Van der Ven. Deze constatering vormde de aanleiding voor het verdere verloop van het onderzoek. De bevindingen wijzen uit dat de methode waarop de scope 3 analyse van Van der Ven is berekend toereikend is om de grootste CO₂-uitstoters van het bedrijf in te schatten. Maar, niet om een goed beeld te krijgen van de daadwerkelijke CO₂-uitstoot binnen het bedrijf. Daarom wordt de totale uitstoot in het vervolg berekend op basis van activiteiten en productie, in plaats van op basis van uitgaven. Hiervoor is een nieuwe vergelijking opgesteld.

Vervolgens is in dit eerste deelonderzoek de betonketen geanalyseerd. Uit de resultaten blijkt dat de winning van grondstoffen met minimaal 62% de voornaamste bron van uitstoot is in de betonketen. Dit is met name toe te schrijven aan de productie van cement. Het totale transport vertegenwoordigt een aandeel van ongeveer 20% in de gehele keten. De productie-, bouw-, en sloopfase hebben een kleiner aandeel in de keten. Uit deze conclusies blijkt dat op het gebied van CO₂-reductie het meest valt te verbeteren in de grondstoffensamenstelling, en daarna in het totale transport.

In het laatste deel van dit eerste deelonderzoek is de huidige situatie binnen Van der Ven en de branche op het gebied van de reductie van CO₂-uitstoot van beton in kaart gebracht. De bevindingen tonen aan dat Van der Ven op dit moment de focus niet legt op CO₂-reductie in de betonketen, maar op de vermindering van de CO₂-uitstoot veroorzaakt door brandstof. Dit komt omdat uit de eerdere scope 3 analyse bleek dat dit de grootste bron van uitstoot is. Met betrekking tot de branche blijkt dat opdrachtgevers het lastig vinden om effectief uit te vragen en te toetsen op CO₂-reductie, hierdoor worden inschrijvende aannemers niet voldoende gestimuleerd, waardoor er bij betonproducenten niet wordt uitgevraagd. Dit resulteert in een kip-en-eiprobleem. Prefab betonleveranciers streven naar ontwerptimalisatie door materiaalbesparing, maar vaak leidt dit tot overmatig gebruik van portlandcement bij constructieve betonproducten, en dus niet tot CO₂-reductie. Op dit moment halen recyclingbedrijven geen aanzienlijke hoeveelheden grondstoffen terug voor beton, wat resulteert in een suboptimale terugvoer binnen de betonketen. Transporteurs richten momenteel nog onvoldoende de aandacht op verduurzaming in de transportfasen. Zowel grondstoffensamenstellers als constructeurs leggen momenteel ook nog geen sterke nadruk op verduurzaming in de betonketen. Daarom dienen zij aangemoedigd te worden om hier meer aandacht aan te besteden. Concluderend is de samenwerking met partners van cruciaal belang voor CO₂-reductie in de betonketen.

In het tweede deelonderzoek is de theorie in de praktijk toegepast naar de gewenste situatie. Hiervoor zijn CO₂-reducerende maatregelen voor beton geïnventariseerd. De hiërarchie voor CO₂-reductie van het

materiaal beton is als volgt: 1. Minder bouwen, 2. Minder nieuw beton, 3. Minder cement in beton, 4. Minder klinker in cement, en 5. Minder CO₂ door klinker. Naast CO₂-reductie van het materiaal beton is het ook de verduurzaming van de bijbehorende processen van belang, zoals het productieproces, het transport en de bouwphase. Vervolgens zijn de geïnventariseerde maatregelen tegen elkaar afgewogen middels een Multi Criteria Analyse per periode. De bevindingen zijn als volgt: in de komende periode (2024-2025) is het van belang om in te zetten op klinkervervanging, het gebruik van secundaire grondstoffen, materiaalbesparing en verduurzaming van de processen. In de periode 2025-2030 moet er door een verschuiving in de maatregel van klinkervervanging worden ingezet op innovaties, zoals gerecyclede cementsteen, geopolymeerbeton en waterstof als brandstof. Na 2030 moet er worden ingezet op CO₂-afvang en opslag, bijvoorbeeld in nieuw beton. De verwachting is dat de kosteneffectiviteit voor deze maatregelen in de periode 2025-2030 zal verlopen van positief naar negatief of neutraal.

In het derde deelonderzoek stond de registratie- en monitoring van de gestelde maatregelen centraal. Hiervoor is de Ontwerptool Groen Beton vertaald in een Excel werkmap, welke gekoppeld is aan het keuringsplan voor beton van Van der Ven. Met deze Excel werkmap kan de CO₂-uitstoot van beton op een eenvoudige wijze geregistreerd, en gemonitord worden middels een dashboard. Daarnaast is in dit derde deelonderzoek de theoretische en praktische haalbare CO₂-reductie onderzocht. De resultaten tonen aan dat een combinatie van maatregelen in LCA-fase A1-A3 theoretisch een CO₂-reductie van 75-95% haalbaar maakt. Voor Van der Ven is een maximale CO₂-reductie haalbaar van 40% in LCA fase A1-A3 in vergelijking met een CEM III/B, door de toepassing van een Geopolymeerbeton met 30% secundair materiaal. Echter is dit niet toepasbaar op alle projecten met betrekking tot de verschillende toepassingen en opdrachtgevers. Voor Van der Ven is er een CO₂-reductie over de gehele levenscyclus van beton van minimaal 5% ten opzichte van het gemiddelde betonmengsel praktisch haalbaar en realistisch met de toepassing van klinkervervanging, secundaire grondstoffen en verduurzaming van de processen. Dit is ongeacht het project, de opdrachtgever of de specifieke toepassing. Daarnaast is het essentieel om project specifiek te bepalen waar verdere reductiemogelijkheden liggen om dit percentage te verhogen, zeker met de opkomende innovaties in het verschieft.

In het laatste deelonderzoek stonden de vervolgstappen met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen voor Van der Ven centraal. Hiervoor is een implementatieplan opgesteld. Dit implementatieplan dient als een richtlijn voor de werkwijze in de verschillende projectfasen voor implementatie van CO₂-reductie in de betonketen binnen Van der Ven. Onderdeel van het implementatieplan is het communicatieplan en het beheersplan om de implementatie in goede banen te leiden. In 2024 staat met betrekking op implementatie de uitvoering van de nulmeting centraal. Deze meting is cruciaal om aan te tonen waar Van der Ven zich bevindt zonder de implementatie van maatregelen en vormt de basis voor het aantoonbaar behalen van de reductiedoelstelling. De nulmeting zal worden uitgevoerd met behulp van de opgestelde registratie- en monitoringstool. Vanaf 2025 zal de daadwerkelijke implementatie van start gaan. Voor implementatie is samenwerking met de partners van essentieel belang.

Door project specifiek te bepalen welke CO₂-reducerende maatregelen er geïmplementeerd kunnen worden door ten eerste de werkwijze uit het implementatieplan te volgen. Ten tweede de CO₂-uitstoot van beton te registreren en te monitoren en als laatste samen te werken met de partners. Op deze manier kan de grootste CO₂-uitstoter binnen Van der Ven; beton, gereduceerd worden en kan tevens de doelstelling van 20% reductie in 2030 behaald worden. Laten we niet alleen streven naar het verwezenlijken van de slogan van Van der Ven, namelijk: "De wereld mooier maken", maar ook naar: "De wereld schoner maken"!

11. Aanbevelingen

Dit hoofdstuk beschrijft de aanbevelingen voor Van der Ven. Deze aanbevelingen zijn nodig om beton, de grootste CO₂-uitstoter binnen aannemingsbedrijf Van der Ven, te verminderen, rekening houdend met de markt van de komende 10 jaar en de praktische haalbaarheid. Tevens zijn deze aanbevelingen ook van essentieel belang voor het behalen van de doelstelling in 2030, namelijk 20% CO₂-reductie, met de ambitie naar 40% reductie. Hierbij zijn diverse onderdelen beschreven, onderverdeeld in de fasen van de PDCA-cyclus.

11.1 Start implementatie (Plan)

Doelstelling

Ten eerste is het van essentieel belang om de doelstelling van dit onderzoek helder te formuleren en te communiceren, zodat er geen verwarring ontstaat over de precieze inhoud en de uiterlijke deadline van de doelstelling. Om ervoor te zorgen dat gedurende het traject, vanaf de nulmeting in 2024 tot de deadline in 2023, voldoende voortgang wordt geboekt, wordt het aanbevolen tussentijdse doelstellingen vast te stellen. Deze tussentijdse doelstellingen moeten ervoor zorgen dat er constant progressie wordt geboekt.

Nulmeting

Voor de daadwerkelijke implementatie wordt het aanbevolen om in 2024 een nulmeting uit te voeren. Deze meting is cruciaal om aan te tonen waar Van der Ven zich bevindt zonder de implementatie van maatregelen en vormt de basis voor het aantoonbaar behalen van de reductiedoelstelling. De nulmeting kan worden uitgevoerd met behulp van de opgestelde registratie- en monitoringstool.

Pilots voor implementatie

Om te beoordelen of het implementatieplan de beoogde resultaten oplevert, wordt het aanbevolen om in 2024 naast de nulmeting pilots uit te voeren met de opgestelde stappenplannen voor de processen uit het implementatieplan, waarmee ook de implementatie van CO₂-reducerende maatregelen in de betonketen kunnen worden getest. Op deze manier kunnen, indien nodig, aanpassingen worden aangebracht in de stappenplannen voor de daadwerkelijke implementatie. Zo kan er in 2025 goed voorbereid en succesvol worden gestart met de implementatie.

Duurzaamheidscoördinator

Voor het uitvoeren van de implementatie wordt het aanbevolen om een duurzaamheidscoördinator aan te nemen, om ondercapaciteit op de KAM-afdeling te voorkomen. De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de implementatie van dit onderzoek binnen Van der Ven.

11.2 Uitvoeren plan (Do)

Implementatieplan

Voor de daadwerkelijke implementatie van CO₂-reductie in de betonketen binnen Van der Ven is het van essentieel belang om het implementatieplan te volgen, wat dient als richtlijn voor de werkwijze in de verschillende projectfasen. Het wordt aanbevolen om hiermee te beginnen in 2025, direct na de nulmeting in 2024, om voldoende tijd te hebben voor het behalen van de gestelde doelstelling voor 2030.

Samenwerking met de partners

Voor een succesvolle implementatie is samenwerking met partners van cruciaal belang om CO₂-reductie in de betonketen te realiseren. Daarom wordt aanbevolen om in de voorbereidingsfase van een project het gesprek aan te gaan met betonproducenten, om gezamenlijk te onderzoeken welke CO₂-reducerende maatregelen specifiek voor dat project haalbaar zijn. Het is tevens raadzaam om een adviseur in te schakelen, die niet alleen tijdens de voorbereidingsfase, maar ook bij de planvorming kan assisteren bij het integreren van CO₂-reducerende maatregelen in het plan van aanpak voor een aanbesteding.

Voorkomen schijnoplossingen

Voor een succesvolle implementatie moeten tevens schijnoplossingen worden voorkomen. Materiaalbesparing in relatie tot mengselsamenstelling, of CO₂-reductie in relatie tot circulariteit kunnen namelijk zorgen voor tegenstrijdigheden waardoor er mogelijk geen CO₂-reductie wordt behaald. Hiervoor wordt het aanbevolen om per oplossing te beoordelen of er daadwerkelijk CO₂-uitstoot wordt gereduceerd, bijvoorbeeld door vergelijking met een referentieontwerp. Dit is mogelijk met de registratie- en monitoringstool.

11.3 Voortgang meten en monitoren (Check)

Registratie- en monitoringstool

Voor het meten en monitoren van de voortgang wordt aanbevolen om in de toekomst al het betonwerk, zowel prefab als in het werk gestort, te registreren met behulp van de registratie- en monitoringstool. Met deze tool kan op eenvoudige wijze project specifiek of per jaar inzicht worden gegeven in de CO₂-uitstoot, veroorzaakt door de activiteiten van Van der Ven in relatie tot betonwerk. Tevens wordt aanbevolen om de datasets uit de registratie- en monitoringstool up-to-date te houden wanneer er nieuwe gegevens gepubliceerd worden door het Betonhuis.

Digitalisatie in ED-Controls

Momenteel worden er binnen Van der Ven pilots gedraaid met ED-Controls. Dit is een applicatie waarmee onder andere de keuringen van beton kunnen worden uitgevoerd. Aan de hand van een vragenlijst wordt het stortplan- en formulier ingevuld, wat het proces van keuringen aanzienlijk vereenvoudigt. Als ED-Controls of een andere applicatie met betrekking tot kwaliteitsborging daadwerkelijk binnen Van der Ven wordt geïmplementeerd wordt het aanbevolen om te onderzoeken of de registratie- en monitoringstool ook implementeerbaar is in deze applicatie. Dit is noodzakelijk om de registratie- en monitoring van CO₂-reductie in de betonketen te waarborgen.

11.4 Bijsturen op basis van voortgang (Act)

Evaluatie

Voor het bijsturen op basis van de voortgang en eventuele aanpassingen aan het plan wordt het aanbevolen om jaarlijks een evaluatie uit te voeren op basis van de jaarcijfers uit de registratie- en monitoringstool. Dit is nodig om de doelstelling voor 2030 te kunnen behalen. In het implementatieplan is het stappenplan voor de jaarevaluatie opgenomen.

12. Discussie

In dit hoofdstuk wordt het uitgevoerde onderzoek kritisch geanalyseerd. Hierbij wordt de validiteit van het onderzoek aangetoond per onderzoeksmethode. Bovendien wordt er kort aandacht besteed aan suggesties voor vervolgonderzoek en wordt er een terugkoppeling gegeven met betrekking tot de Sustainable Development Goals.

12.1 Validiteit

In dit onderzoek is er gebruik gemaakt van vier onderzoeksmethoden: literatuuronderzoek, deskresearch, fieldresearch en toegepast onderzoek.

Voor het beantwoorden van deelvraag 1 en 2 is literatuuronderzoek uitgevoerd met behulp van online bronnen. De verzamelde informatie kan als betrouwbaar worden beschouwd, gezien de diversiteit aan bronnen. Er is tevens gestreefd naar het gebruik van zoveel mogelijk recente bronnen om de kans op verouderde informatie te minimaliseren. Dit is van essentieel belang omdat verduurzaming een actueel onderwerp is dat voortdurend in ontwikkeling is. Er is daarom veelvuldig gebruik gemaakt van de onderzoeken van de CE Delft, een onafhankelijk adviesbureau dat recent veel onderzoek heeft gedaan naar de ontwikkelingen in de verduurzaming van de betonketen.

Omdat uit het onderzoek naar de totstandkoming van de huidige scope-3 analyse in deelvraag 1 bleek dat de gebruikte methode niet valide is, bevat dit hoofdstuk tevens een discussie. Op basis van deze discussie is een nieuwe berekening opgesteld waarbij de onzekere factor uit de formule is verwijderd. Hierdoor kan in de toekomst de CO₂-uitstoot op een valide wijze worden berekend. Als gevolg van een wijziging in de berekeningsmethodiek en de discussie dat de huidige scope-3 analyse geen accuraat beeld geeft van de daadwerkelijke CO₂-uitstoot, is het noodzakelijk om in 2024 eerst een nulmeting uit te voeren met de nieuwe berekeningsmethodiek. Dit is essentieel om de doelstelling op een betrouwbare manier aan te tonen, aangezien de nieuwe methodiek mogelijk al tot het behalen van de doelstelling kan leiden. Dit is dan ook de reden waarom het jaartal 2022 in de oorspronkelijke doelstelling is vervangen door het jaartal 2024.

Voor het beantwoorden van de deelvragen 3 tot en met 6 is er onder andere deskresearch uitgevoerd. Ten eerste in de vorm van interne bedrijfsgegevens voor deelvraag 3. Deze informatie vanuit Van der Ven kan als betrouwbaar worden beschouwd, omdat deze bevestigd is door de ondervraagden. Daarnaast heeft het deskresearch gediend als een voorbereiding en aanvulling op het fieldresearch dat in deze deelvragen is uitgevoerd. Een aanvullende overweging is geweest dat veel literatuuronderzoek met betrekking tot CO₂-reducerende maatregelen verouderd is, terwijl innovaties op dit gebied voortdurend vernieuwen. Op deze manier heeft het deskresearch gezorgd voor zoveel mogelijk actuele informatie. Vanwege het beperkte aanbod aan actuele informatie zijn er in deze deelvragen slechts een beperkt aantal bronnen gebruikt. De maatregellijst had met meer informatie en bronnen mogelijk meer valide kunnen worden samengesteld. Bovendien zijn veel cijfers met betrekking tot innovaties nog niet gevalideerd. Daarom zijn in deze deelvragen voornamelijk verwachtingen voor de toekomst geschetst. Dit is het gevolg van de onzekerheden in de ontwikkelingen, bijvoorbeeld op het gebied van klimaatbeleid en innovaties. Om deze reden zijn in het volgende hoofdstuk suggesties gedaan voor vervolgonderzoek naar de opschaling en acceptatie van innovaties in de betonketen, en naar de stand van zaken van implementatie waarbij dit onderzoek

geactualiseerd dient te worden. Daarnaast wordt aanbevolen om de datasets in de registratie- en monitoringstool up-to-date te houden met nieuwe gegevens zodra deze beschikbaar zijn. Op deze manier kan de actualiteit en validiteit van de registratie- en monitoringstool worden gegarandeerd.

Voor het beantwoorden van de deelvragen 2 tot en met 7 is er tevens gebruik gemaakt van fieldresearch. Hier is voor gekozen om te kunnen beoordelen of de theorie ook in de praktijk te brengen is, daarnaast is dit waardevol gebleken voor het implementeren van de maatregelen in samenwerking met de partners van Van der Ven. Hierbij is er wel naar gestreefd om vast te houden aan een aantal vooraf bepaalde vragen, waarvoor een gestandaardiseerd formulier is opgesteld. De verkregen informatie is geverifieerd bij de ondervraagden, waardoor deze als valide kan worden beschouwd. In sommige gevallen had er echter doorgevraagd kunnen worden, vooral wanneer de verstrekte informatie niet volledig overeenkwam met de gestelde vraag, om ervoor te zorgen dat de juiste informatie beter naar voren zou komen. In [bijlageboekje 6](#) is daarom een conclusie opgenomen van de locatiebezoeken met daarin de vragen die door de meeste ondervraagden hetzelfde zijn beantwoord. Hierdoor kan worden gesteld dat als deze interviews opnieuw worden uitgevoerd, dezelfde antwoorden verkregen zullen worden. Tevens is de informatie uit deze locatiebezoeken gevalideerd middels deskresearch.

Als laatste onderzoeksmethode is er toegepast onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek heeft voornamelijk betrekking op de deelvragen 4 tot en met 8, en is essentieel gebleken om conclusies te trekken en aanbevelingen te formuleren die direct praktisch toepasbaar zijn voor Van der Ven. Deze informatie is terug te vinden in het hoofdstukken 7, 8 en 9. Deze informatie is gecommuniceerd met de medewerkers van Van der Ven, waarop feedback is ontvangen. Deze feedback is vervolgens verwerkt om de praktische toepasbaarheid te kunnen garanderen. Tevens zijn er voor de registratie- en monitoringstool al diverse testen uitgevoerd om te praktische toepasbaarheid te beoordelen. Met betrekking tot het implementatieplan worden bovendien diverse pilots aanbevolen om de validiteit te waarborgen.

Tot slot is er een cursus gevolgd en zijn er diverse bijeenkomsten bijgewoond om de informatie met betrekking tot innovaties op het gebied van CO₂-reductie van beton te valideren. Aangezien hier weinig tot geen nieuwe informatie naar voren kwam die niet in dit onderzoek is beschreven, kan worden gesteld dat het onderzoek volledig en valide is.

12.2 Suggesties voor vervolgonderzoek

Vanuit het perspectief van validiteit zijn er verschillende mogelijkheden naar voren gekomen voor het uitvoeren van vervolgonderzoeken, voor bijvoorbeeld Van der Ven:

- ▶ Onderzoek naar de emissie buiten de scope van dit onderzoek (bijv. stikstof (NO_x) en fijnstof (PM))
 Dit onderzoek richt zich volledig op de CO₂-emissie die vrijkomt in de betonketen. Naast CO₂ komen er (in mindere mate) ook andere broeikasgassen vrij, zoals stikstof en fijnstof. Om een volledig beeld te krijgen van de milieu-impact van de betonketen, wordt aanbevolen hier nader onderzoek naar te doen.
- ▶ Onderzoek naar CO₂-reductie in de staalketen (specifiek met betrekking op wapening)
 Staal komt naar voren als de tweede grootste uitstoter (13%) volgens de scope-3 analyse en wordt veelvuldig toegepast in de betonindustrie. Daarom wordt aanbevolen om specifiek onderzoek te doen naar CO₂-reductie in de staalindustrie, aangezien dit kan leiden tot verdere afname van de milieu impact van beton (verbetering van SDG 12 en 13).

- ▶ Onderzoek naar implementatie van de registratie- en monitoringstool in bijvoorbeeld ED-Controls
 Momenteel worden er binnen Van der Ven pilots gedraaid met Ed-Controls. Dit is een applicatie waarmee onder andere de keuringen van beton kunnen worden uitgevoerd. Aan de hand van een vragenlijst wordt het stortplan- en formulier ingevuld, wat het proces van keuringen aanzienlijk vereenvoudigt. Als ED-Controls of een andere applicatie met betrekking tot kwaliteitsborging daadwerkelijk binnen Van der Ven wordt geïmplementeerd is het noodzaak om te onderzoeken of de registratie- en monitoringstool ook implementeerbaar is in deze applicatie.
- ▶ Onderzoek en ontwikkeling van een duurzaamheidsklasse voor beton(producten)
 Het wordt ook aanbevolen om onderzoek te doen naar een duurzaamheidsklasse voor beton(producten), vergelijkbaar met een energielabel. Hierdoor wordt de klant zich veel meer bewust van de milieu-impact die het beton(product) met zich meebrengt. Bovendien kan er aan de hand van een label ook gemakkelijker worden uitgevraagd op CO₂-reductie (verbetering van SDG 9 en 12).
- ▶ Onderzoek naar opschaling en acceptatie van innovaties in de betonketen
 Innovaties in de betonketen worden momenteel nog niet snel genoeg opgeschaald, daarnaast vormt de acceptatie van innovaties in de markt een aanzienlijk probleem, met name door (remmende) normen en regelgeving. Daarom is het van belang dat er onderzoek wordt gedaan naar hoe innovaties snel kunnen worden opgeschaald en geaccepteerd worden door de markt (verbetering van SDG 9).
- ▶ Onderzoek naar de stand van zaken van de implementatie
 Voor Van der Ven is het interessant om over 3 tot 5 jaar onderzoek te doen naar de stand van zaken van de implementatie van dit onderzoek. Daarnaast dient het onderzoek geactualiseerd te worden. Binnen deze termijn worden de innovaties namelijk verder ontwikkeld, en wellicht zijn er ook nieuwe innovaties beschikbaar. Op basis van deze nieuwe informatie kan het implementatieplan worden aangepast.

12.3 Terugkoppeling op de SDG's

In dit hoofdstuk wordt er teruggekoppeld op de SDG's, welke zijn benoemd in hoofdstuk 1.6. In dit hoofdstuk is per doel aangegeven hoe dit onderzoek een bijdrage kan leveren aan dit doel. In dit hoofdstuk wordt er gereflecteerd op de vraag of dit onderzoek daadwerkelijk een bijdrage heeft geleverd aan het behalen van de SDG's. Met de daadwerkelijke implementatie kunnen de doelen verbeterd worden (SDG Nederland, sd).

- ▶ SDG 3: Goede gezondheid en welzijn
 Doel: terugdringen van lucht, water en bodemverontreiniging
Het verminderen van de CO₂-uitstoot resulteert in het terugdringen van lucht, water en bodemverontreiniging waar een beter welzijn van de burgers uit voortvloeit.

 Dit onderzoek heeft een bijdrage geleverd aan dit doel door specifieke maatregelen voor de implementatie van CO₂-reductie in de betonketen voor te stellen, inclusief een bijbehorend implementatieplan. Bovendien kan de maatregel CCU/S, waarbij CO₂ wordt afgevangen tijdens de productie en voorkomen wordt dat deze CO₂ in de lucht vrijkomt, in de toekomst aanzienlijk bijdragen aan een verbetering van dit doel.
- ▶ SDG 7: Betaalbare en schone energie
 Doel: verzekeren toegang tot betaalbare, betrouwbare, duurzame en moderne energie voor iedereen
Met het doel om de CO₂-uitstoot te reduceren gaat Van der Ven aan de slag om het gebruik van

fossiele energie terug te dringen en het gebruik van hernieuwbare energie te vergroten.

Dit onderzoek heeft een bijdrage geleverd aan dit doel door maatregelen voor te stellen die het gebruik van fossiele energie terug dringen, in elke fase van de betonketen (van grondstoffenwinning t/m afvalverwerking of hergebruik). Voorbeelden hiervan zijn verduurzaming in de productiefase en de transportfase, waarbij de voorkeur uitgaat naar hernieuwbare energie (afkomstig van zon, wind en water). Wanneer dit niet mogelijk is worden duurzame brandstoffen en brandstofefficiëntie aangeraden.

► SDG 9: Industrie, innovatie en infrastructuur

Doel: bouw een veerkrachtige infrastructuur, bevorder inclusieve en duurzame industrialisatie en stimuleer innovatie.

Het moderniseren van de infrastructuur om deze tegen 2030 duurzaam te maken waarbij de focus ligt op het gebruik van schonere en milieuvriendelijke technologieën en de stimulatie van innovatie.

Dit onderzoek heeft een bijdrage geleverd aan dit doel door in de maatregellijst de nadruk te leggen op schonere en milieuvriendelijke technologieën en de stimulatie van innovaties. Deze stimulans komt eveneens naar voren in het implementatieplan en hoofdstuk 8.3.1.

► SDG 12: Verantwoorde consumptie en productie

Doel: zorgen voor duurzame consumptie- en productiepatronen.

Van der Ven gaat aan de slag met duurzame productie en consumptie met efficiënt gebruik van grondstoffen, welke de druk op het milieu vermindert en de afhankelijkheid van deze grondstoffen om de CO₂-uitstoot te kunnen reduceren.

Dit onderzoek heeft een bijdrage geleverd aan dit doel door duurzame productie en consumptie te stimuleren, bijvoorbeeld in de vorm van circulariteit, efficiëntie van grondstoffen (denk aan: hybride beton of korrelpakking) en afhankelijkheid van grondstoffen (denk aan: variant op geopolymeerbeton, waarbij er afval naar consumptie wordt gebruikt, en geen reststoffen uit andere industrieën).

► SDG 13: Klimaatactie

Doel: neem dringend actie om klimaatverandering en de gevolgen ervan te bestrijden

Verminderen van de nadelige effecten van de klimaatverandering, voortkomend uit het broeikaseffect door de vermindering van de CO₂-uitstoot.

Dit onderzoek heeft een bijdrage geleverd aan dit doel door de CO₂-uitstoot in de betonketen te verminderen, aan de hand van verschillende maatregelen. Deze maatregelen zijn geïntegreerd in een implementatieplan om de resultaten van het onderzoek daadwerkelijk toe te passen.

► SDG 17: Partnerschap om doelstellingen te bereiken

Doel: versterk de implementatiemiddelen en revitaliseer het wereldwijd partnerschap voor duurzame ontwikkeling.

Door samen te werken met de gehele keten kan Van der Ven zijn doelstellingen op het gebied van duurzaamheid bereiken.

Dit onderzoek heeft een bijdrage geleverd aan dit doel door in het implementatieplan samenwerking met partners in de betonketen aan te bevelen. Samenwerking is namelijk nodig om de doelstelling uit dit onderzoek te bereiken. Dit is ook opgenomen in hoofdstuk 9.2.

Nawoord

Ik heb het uitvoeren van dit onderzoek en het schrijven van deze scriptie als zeer interessant en leerzaam ervaren. Met name de praktijkgerichte interactie, waaronder bedrijfs- en projectbezoeken, en de interviews met koplopers op het gebied van verduurzaming in de betonketen, waren bijzonder waardevol en werkten zeer motiverend gedurende mijn afstudeerperiode.

Voorafgaand aan de daadwerkelijke afstudeerperiode had ik al een plan van aanpak opgesteld. Dit creëerde veel duidelijkheid, vertrouwen en tevens de rode draad voor de afstudeerperiode. Door deze vroegtijdige start kon ik gedurende de periode met de begeleidingsmomenten en de peilingen al veel inhoudelijke vragen stellen en om feedback vragen, met als doel mijn onderzoek naar een hoger niveau te tillen. Gedurende het proces zijn er enkele wijzigingen aangebracht in het opgestelde plan, voornamelijk vanwege het ontbreken van de benodigde informatie of het gebrek aan onderbouwing van bepaalde gegevens. Hoewel ik daardoor in de eerste weken wat tijd heb verloren, kon ik dit gelukkig goed opvangen vanwege mijn vroegtijdige start.

Vervolgens ben ik intensief informatie gaan verzamelen, zowel via literatuuronderzoek en deskresearch als door fieldresearch. De koppeling van theoretische kennis naar de praktijk is als zeer waardevol ervaren voor mijn onderzoek, met name voor de uiteindelijke implementatie. Opvallend was dat wanneer het over dit onderwerp gaat, bedrijven, leveranciers en andere marktpartijen bijzonder open zijn en graag informatie wilden delen.

De planning voor dit afstudeeronderzoek heeft voor mij een leidende rol gespeeld. Aangezien er met name bij fieldresearch soms gewacht moest worden op informatie of op het plannen van een afspraak, heb ik hier voldoende ruimte voor opgenomen in de planning. Bovendien heb ik wekelijks een evaluatie gedaan van mijn voortgang en, indien nodig, de planning aangepast aan de realiteit. Wanneer de geplande activiteiten niet waren afgerond in de desbetreffende week, heb ik 's avonds en in het weekend doorgewerkt om vertraging te voorkomen, vooral omdat ik als enige verantwoordelijk was voor dit onderzoek.

Wat ik als uitdagend heb ervaren, is dat er met betrekking tot dit onderwerp, vooral met het oog op de toekomst, weinig concrete en gevalideerde data beschikbaar is. Hierdoor moesten er regelmatig verwachtingen worden geschept. Uiteindelijk heb ik ontzettend veel geleerd met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen, en kan ik wel zeggen dat ik op dit onderwerp een specialist ben geworden binnen Van der Ven! Ik ben dan ook erg trots op het eindresultaat en verheug me erop om deze periode af te ronden. Mijn volgende stap is de implementatie van de resultaten in de praktijk, waar ik vanaf februari mee aan de slag ga bij Van der Ven in combinatie met mijn werkzaamheden als uitvoerder.

Hester Aanen

Brakel, december 2023

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Verdeling expertises projecten 2022.....	16
Figuur 2: Onderzoeksopzet.....	21
Figuur 3: Life Cycle Analyse van beton (scope).....	22
Figuur 4a t/m 4f: Sustainable Development Goals 3, 7, 9, 12, 13 en 17.....	23
Figuur 5: CO ₂ -emissiereductiestrategie.....	26
Figuur 6: PDCA-cyclus.....	27
Figuur 7: GROTIK aspecten.....	27
Figuur 8: Conceptueel model	28
Figuur 9: Versterking van het broeikas effect door menselijk handelen.....	29
Figuur 10: Overzicht van de scopes en emissies in de waardeketen.....	31
Figuur 11: Ketenganalyse beton.....	36
Figuur 12: Levenscyclus analyse beton (LCA).....	37
Figuur 13: Cirkeldiagrammen klimaatimpact betonmortel en betonproduct in kg CO ₂ / m ³ ZW.....	38
Figuur 14: Cirkeldiagrammen klimaat impact betonmortel en betonproduct in kg CO ₂ / m ³ MW.....	38
Figuur 15a: Lijndiagram met het verloop van de uitstoot in kg CO ₂ / m ³	39
Figuur 15b: Staafdiagram met de CO ₂ uitstoot in de grondstoffenfase in de gemiddelde samenstelling...39	39
Figuur 16a: Het Brevik CCS-project.....	45
Figuur 16b: Schematische weergave voor de mogelijkheden van RCF.....	45
Figuur 17a: Een wand met betoninnovaties bij Voorbij Prefab.....	46
Figuur 17b: Bestanddelen na slim breken met de Smart Crusher	46
Figuur 18a: 3D-printen d.m.v. een topologisch ontwerp bij Weber Beamix.....	49
Figuur 18b: Hergebruik van een betonnen Casco bij Universiteit Utrecht	49
Figuur 19a: Elektrische betonmixer van Kijlstra.....	50
Figuur 19b: Duurzame productielocatie MBI in Kampen	50
Figuur 20a t/m c: Procesanalyse	53
Figuur 21: Onafhankelijke kostencurve beton – Klimaatimpact in 2030.....	56
Figuur 22: Standaard dashboard CO ₂ -uitstoot, registratie- en monitoringstool.....	61
Figuur 23: CO ₂ -reductie cement tot 2050.....	63

Tabellijst

Tabel 1: Product Markt Combinaties (PMC's) gebaseerd op de omzet.....	17
Tabel 2: Onderzoeksmethoden	19
Tabel 3: Upstream en downstream activiteiten	35
Tabel 4: Totale klimaatimpact in de gehele levenscyclus van 1 m ³ betonmortel / betonproduct.....	37
Tabel 5: Kosten arbeid t.b.v. implementatie	58

Literatuurlijst

- ▶ Aanen, H. (2023). *Communicatie*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Aanen, H. (2023). *Ketenanalyse beton*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Aanen, H. (2023). *Maatregellijst*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ ATKB. (sd). *CO₂-voetafdruk*. Opgeroepen op 28 augustus, 2023, van AT-KB: <https://www.at-kb.nl/co2-prestatieladder>
- ▶ Beton Lexicon. (2018, 6 december). *Hoogovenslak*. (Aeneas Media) Opgeroepen op 8 november, 2023, van Beton Lexicon: <https://www.betonlexicon.nl/H/Hoogovenslak>
- ▶ Beton Lexicon. (2019, 24 januari). *Poederkoolvliegias*. (Aeneas Media) Opgeroepen op 8 november, 2023, van Beton Lexicon: <https://www.betonlexicon.nl/P/Poederkoolvliegias#:~:text=Poederkoolvliegias%20is%20een%20fijn%20poeder,verbranding%20van%20poederkool%20in%20elektriciteitscentrales.&text=Verhard%20mengsel%20van%20cement%2C%20grof%20en%20fijn%20toeslagmateriaal%20en%20water>
- ▶ Betonakkoord. (2023). *Samen maken we de betonsector duurzamer*. Opgeroepen op 15 december, 2023, van Betonakkoord: <https://www.betonakkoord.nl/>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021). *Webinar 10 - Zelfhelend beton en alternatieve wapening* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=OLjXqGGXKM0&t=2180s>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021). *Webinar 6 - Geopolymeren en AEC-vulstof* [Film]. Opgeroepen op 19 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=kZeZy01olp8&t=150s>
- ▶ Betoniek. (2016, 3 oktober). *Aluminium in AEC-granulaat risicovoller dan aangenomen*. Opgeroepen op 26 oktober, 2023, van Betoniek: <https://www.betoniek.nl/aluminium-in-aec-granulaat-risicovoller-dan-aangenomen>
- ▶ Bouwend Nederland. (sd). *Duurzaamheid*. Opgeroepen op 24 augustus, 2023, van Bouwend Nederland: <https://www.bouwendnederland.nl/actueel/onderwerpen-a-z/duurzaamheid>
- ▶ Bouwtotaal. (sd). *Cementarme beton halveert CO₂-uitstoot*. Opgeroepen op 26 oktober, 2023, van Bouwtotaal: <https://www.bouwtotaal.nl/2021/12/cementarme-beton-halveert-co2-uitstoot/>
- ▶ Braam, R., Lagendijk, P., Soen, H., & Linssen, J. (2015). *Basiskennis beton*. Boxtel: Aeneas Media.
- ▶ Bruin, M. (2023, 20 oktober). *Binding CO₂ bij hergebruik cementsteen*. Opgeroepen op 4 december, 2023, van Betoniek: <https://www.betoniek.nl/article/16010/Nzg5YWE2MDE2MjBhYjJkZDdiYTRhMjI2OTJiYjFhMjk=>
- ▶ CE Delft. (2013). *Milieuimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw*. Delft: CE Delft. Opgeroepen op 15 december, 2023, van https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_2828_Milieuimpact_van_betongebruik_DEF_1411033477.pdf
- ▶ 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/>
- ▶ CE Delft. (2021). *Kostencurves beton 2020*. Delft: CE Delft. Opgeroepen op 1 december, 2023, van https://ce.nl/wp-content/uploads/2022/02/CE_Delft_190459_Kostencurves-beton_2020_v2_openbaar.pdf
- ▶ Centraal bureau voor de statistiek. (2023, 14 juni). *Uitstoot broeikasgassen 4 procent lager in eerste kwartaal 2023*. Opgeroepen op 25 augustus, 2023, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/>

[24/uitstoot-broeikasgassen-4-procent-lager-in-eerste-kwartaal-2023](#)

- ▶ Centraal Bureau voor de Statistiek. (sd). *Innovatie*. Opgeroepen op 15 december, 2023, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/innovatie>
- ▶ Centraal Bureau voor de Statistiek. (sd). *Wat is duurzaamheid?* Opgeroepen op 15 december, 2023, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/faq/specifiek/wat-is-duurzaamheid->
- ▶ Climate Neutral Group. (sd). *CO₂-footprint*. Opgeroepen op 6 september, 2023, van Climate Neutral Group: <https://www.climateneutralgroup.com/van-a-naar-zero-co2/co2-footprint/#:~:text=Een%20CO2%2DFootprint%20of.en%20andere%20andere%20broeikasgassen%20vrij.>
- ▶ CO₂-prestatieladder. (2011, 17 november). *De waarde van ketenanalyses*. Opgeroepen op 30 augustus, 2023, van CO₂-prestatieladder: <https://www.co2-prestatieladder.nl/nl/news-item/De-waarde-vanketenanalyses#:~:text=Een%20ketenanalyse%20is%20een%20beschouwing.jouw%20product%20bij%20je%20klant.>
- ▶ CO₂-prestatieladder. (2020). *Handboek CO₂-prestatieladder 3.1*. Stichting klimaatvriendelijk aanbesteden & ondernemen. Opgeroepen op 28 augustus, 2023, van <https://www.co2-prestatieladder.nl/nl/handboek>
- ▶ 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). *Duurzaamheidsbeleid*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Drunen, J. v. (2022). *Energiemanagement actieplan*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Drunen, J. v. (2022). *Jaarplan afdeling KAM 2023*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Drunen, J. v. (2022). *Management Review 2022*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Encyclo. (sd). *Reductie definities*. Opgeroepen op 6 september, 2023, van Encyclo: <https://www.encyclo.nl/begrip/reductie>
- ▶ Energievergelijk. (sd). *CO₂ uitstoot: wat is het en is het schadelijk?* Opgeroepen op 6 september, 2023, van Energievergelijk: <https://www.energievergelijk.nl/onderwerpen/co2-uitstoot>
- ▶ Ensie. (2011). *Wat is de betekenis van Multi-criteria-analyse (MCA)?* Opgeroepen op 15 december, 2023, van Ensie: <https://www.ensie.nl/betekenis/multi-criteria-analyse-mca>
- ▶ Ensie. (2019). *Wat is de betekenis van kosten-batenanalyse?* Opgeroepen op 15 december, 2023, van Ensie: <https://www.ensie.nl/betekenis/kosten-batenanalyse>
- ▶ Ensie. (2019). *Wat is de betekenis van materieel?* Opgeroepen op 15 december, 2023, van Ensie: <https://www.ensie.nl/betekenis/materieel>
- ▶ 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>
- ▶ Gassnova SF. (2020, januari). *Developing Longship – Key lessons learned*. Opgeroepen op 4 december, 2023, van CCS Norway: <https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2022/06/Gassnova-Developing-Longship-FINAL.pdf>
- ▶ 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, 30 maart). *Scope 3 de ketenanalyse: waarom, wat en hoe*. Opgeroepen op 4 september, 2023, van Groenbalans: <https://www.groenbalans.nl/scope-3-de-ketenanalyse/>
- ▶ Heidelberg Materials (Regisseur). (2020). *Carbon Capture Technologies* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=f0NgTfLluGQ>

- ▶ Heidelberg materials. (sd). *Brevik CCS - World's first CO₂-capture facility at a cement plant*. Opgeroepen op 20 oktober, 2023, van Brevik CCS: <https://www.brevikccs.com/en>
- ▶ Heijden, R. v. (2019). *3d betonprinten*. Opgeroepen op 4 december, 2023, van weber: <https://www.nl.weber/3d-betonprinten-0>
- ▶ Infracore. (2022). *Omzet crediteuren 2022*. Brakel: Van der Ven
- ▶ Iplo. (sd). *Lucht: verschil emissie en imissie*. Opgeroepen op 6 september, 2023, van Informatiepunt leefomgeving: <https://iplo.nl/thema/lucht/lucht-emissie/>
- ▶ Kader Academy. (sd). *KAM*. Opgeroepen op 15 december, 2023, van Kader Academy: <https://kader-academy.nl/begrippen/milieu-en-kwaliteit/wat-is-kam#:~:text=KAM%20staat%20voor%20Kwaliteit%2C%20Arbo.is%20er%20een%20KAM%20Dafdeling>.
- ▶ KIWA. (sd). *CSC-certificering voor een duurzame betonsector*. Opgeroepen op 30 november, 2023, van Kiwa: <https://www.kiwa.com/nl/nl/services/certificering/csc-certificering-voor-een-duurzame-betonsector/>
- ▶ knmi. (sd). *Broeikaseffect*. Opgeroepen op 30 augustus, 2023, van knmi: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/broeikaseffect>
- ▶ KPI-projecten. (sd). *Project Management*. KPI projecten. Opgeroepen op 15 december, 2023, van <https://www.kpiprojecten.nl/project-management/>
- ▶ Kushwah, T. (2023, 23 januari). *Carbon Emission & BIM 1.0*. *Linkedin*. Opgeroepen op 6 september, 2023, van <https://www.linkedin.com/pulse/carbon-emission-bim-10-tanmay-kushwah/>
- ▶ KWS. (sd). *Emissieloos bouwen*. Opgeroepen op 6 september, 2023, van KWS: <https://www.kws.nl/nl/over-ons1/duurzaam1/emissieloos-bouwen>
- ▶ L. Benders & Scharwächter, V. (2023, maart 24). *Een implementatieplan voor je scriptie of adviesrapport*. Opgeroepen op 11 december, 2023, van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/implementatieplan/>
- ▶ MBI. (sd). *Bedrijfsprofiel*. Opgeroepen op 4 december, 2023, van MBI: <https://www.mbi.nl/over-mbi/de-steenmeesters/>
- ▶ Miedema, A. (2021). *De eerste elektrische betonmixer ter wereld stond weer even in Joure*. Opgeroepen op 4 december, 2023, van <https://www.alexmiedema.nl/2021/01/06/de-eerste-elektrische-betonmixer-ter-wereld-stond-weer-even-in-joure/>
- ▶ Nationale Milieu Database. (sd). *Categorieën milieuverklaringen*. Opgeroepen op 30 november, 2023, van Nationale Milieu Database: <https://milieudatabase.nl/nl/database/nationale-milieudatabase/>
- ▶ Peters, J., & Stravers, A. (2022). *De emissieloze bouwplaats van 2023*. Brakel: Van der Ven. Opgeroepen op 4 september, 2023.
- ▶ Rijksoverheid. (2019). *Wat is het Klimaatakkoord?* Opgeroepen op 15 december, 2023, van Rijksoverheid: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord#:~:text=Het%20Klimaatakkoord%20is%20een%20onderdeel,opwarming%20van%20de%20aarde%20beperkt>.
- ▶ Rijkswaterstaat. (sd). *Methoden om kosteneffectiviteit te bepalen*. Opgeroepen op 1 december, 2023, van Infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/digitale-ner/kosteneffectiviteit/methoden/#:~:text=De%20milieubaten%20volgen%20uit%20de.in%20euro's%20per%20kilo%20emissiereductie>.
- ▶ RIVM. (2018, 2 november). *Wat is LCA?* Opgeroepen op 30 november, 2023, van RIVM: <https://www.rivm.nl/life-cycle-assessment-lca/wat-is-lca>
- ▶ RVO. (2023, 11 oktober). *Milieuprestatie Gebouwen - MPG*. Opgeroepen op 30 november, 2023, van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg>
- ▶ 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>
- ▶ SDG Nederland. (sd). *dit zijn de sustainable development goals*. Opgeroepen op 4 september, 2023, van SDG Nederland: <https://www.sdgnederland.nl/de-17-sdgs/>
 - ▶ SmartCrusher (Regisseur). (2015). *SmartCrusher-Betonrecycling - Milieuvriendelijk groen beton* [Film]. Opgeroepen op 27 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=5CIAriOkOfE>
 - ▶ Staal, D. (2023, juni). *Wat doe je als je als Voorbij Prefab B.V. zelf opdrachtgever mag zijn omdat je een extra productiehal laat bouwen?* Opgeroepen op 4 december, 2023, van LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/dorienstaal/recent-activity/all/>
 - ▶ Statista. (2022). *Annual carbon dioxide (CO₂) emissions worldwide from 1940 to 2022*. Opgeroepen op 25 augustus, 2023, van Statista: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>
 - ▶ 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
 - ▶ TOTEM. (2021). *TOTEM voorschrijven in overheidsopdrachten*. Opgeroepen op 4 september, 2023, van OVAM: <https://www.vlaanderen.be/publicaties/totem-voorschrijven-in-overheidsopdrachten-een-praktische-gids-voor-aanbestedende-overheden>
 - ▶ Universiteit Utrecht. (2023). *Lopende projecten in het Utrecht Science Park*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Universiteit Utrecht: <https://www.uu.nl/organisatie/campus-development/marktverkenning-ontwikkeling-transitiegebouw>
 - ▶ Van der Ven. (sd). *Duurzaamheid*. Opgeroepen op augustus 21, 2023, van Van der Ven: <https://www.vanderven.nl/over-van-der-ven/duurzaamheid>
 - ▶ Van der Ven. (sd). *Expertises*. Opgeroepen op 23 augustus, 2023, van Van der Ven: <https://www.vanderven.nl/expertises>
 - ▶ Van der Ven. (sd). *Van der Ven, aangenaam.*. Opgeroepen op 23 augustus, 2023, van Van der Ven: <https://www.vanderven.nl/over-van-der-ven/over-ons>
 - ▶ van Gent, P. (2021). *Road map CO2*. Opgeroepen op 4 september, 2023, van Betonakkoord: https://www.betonakkoord.nl/wp-content/uploads/sites/43/166796/road_map_co2_januari_2021_versie_1_2.pdf
 - ▶ Verenigde Naties. (sd). *De 17 doelstellingen*. Opgeroepen op 24 augustus, 2023, van sdg's united nations: <https://sdgs.un.org/goals>
 - ▶ Vermeulen, E. (2017, 6 oktober). *Balans tussen emissie en opname CO2*. Opgeroepen op 28 december, 2023, van Betoniek: <https://www.betoniek.nl/balans-tussen-emissie-en-opname-co2>
 - ▶ Verweij, M. (2023, 25 april). *Lavameel: een oude bekende in het nieuw*. *Betoniek*. Opgeroepen op 8 november, 2023, van <https://www.betoniek.nl/lavameel-een-oude-bekende-in-het-nieuw#:~:text=Lava%20meel%20ook%20wel%20tras%20geheten%20is%20een%20materiaal%20op%20basis,voor%20gegranuleerde%20hoogovenslak%20en%20poederkoolvliegass>
 - ▶ Voorbij Prefab. (sd). *Groen beton*. Opgeroepen op 3 november, 2023, van Voorbij prefab: <https://www.voorbijprefab.nl/circulair/groen-beton>
 - ▶ Weerdenburg Huisvesting Consultants B.V. (2017). *GROTIK, een vaker gebruikte term binnen projectmanagement*. Opgeroepen op 15 december, 2023, van http://whc-advies.nl/wp-content/uploads/2017/05/NB146_Grotik_24032017.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). *Scope 3 analyse*. Brakel: Van der Ven.

Losse bijlagen

Bijlage 1:	Organogram Van der Ven
Bijlage 2:	CO ₂ -uitstootgegevens
Bijlage 3:	(emissie) Factoren per methode
Bijlage 4:	Stakeholderanalyse
Bijlage 5:	Voorkeursmaatregelen per periode
Bijlage 6:	Scope-3 analyse
Bijlage 7:	Product- markt combinaties

Bijlagenboekjes

Bijlageboekje 1:	Toelichting scope-3 analyse
Bijlageboekje 2:	Ketenanalyse beton
Bijlageboekje 3:	Maatregellijst inclusief MCA
Bijlageboekje 4:	Registratie- en monitoringstool
Bijlageboekje 5:	Implementatieplan
Bijlageboekje 6:	Communicatie ¹⁰

¹⁰ Bijlageboekje 6 bevat onder andere: locatie- en projectbezoeken, enquêteresultaten, interviews en gesprekken, cursus- en webinar aantekeningen en bijeenkomsten



CO₂-reductie van beton

De aanpak voor de reductie van CO₂-uitstoot in de betonketen
Losse bijlagen

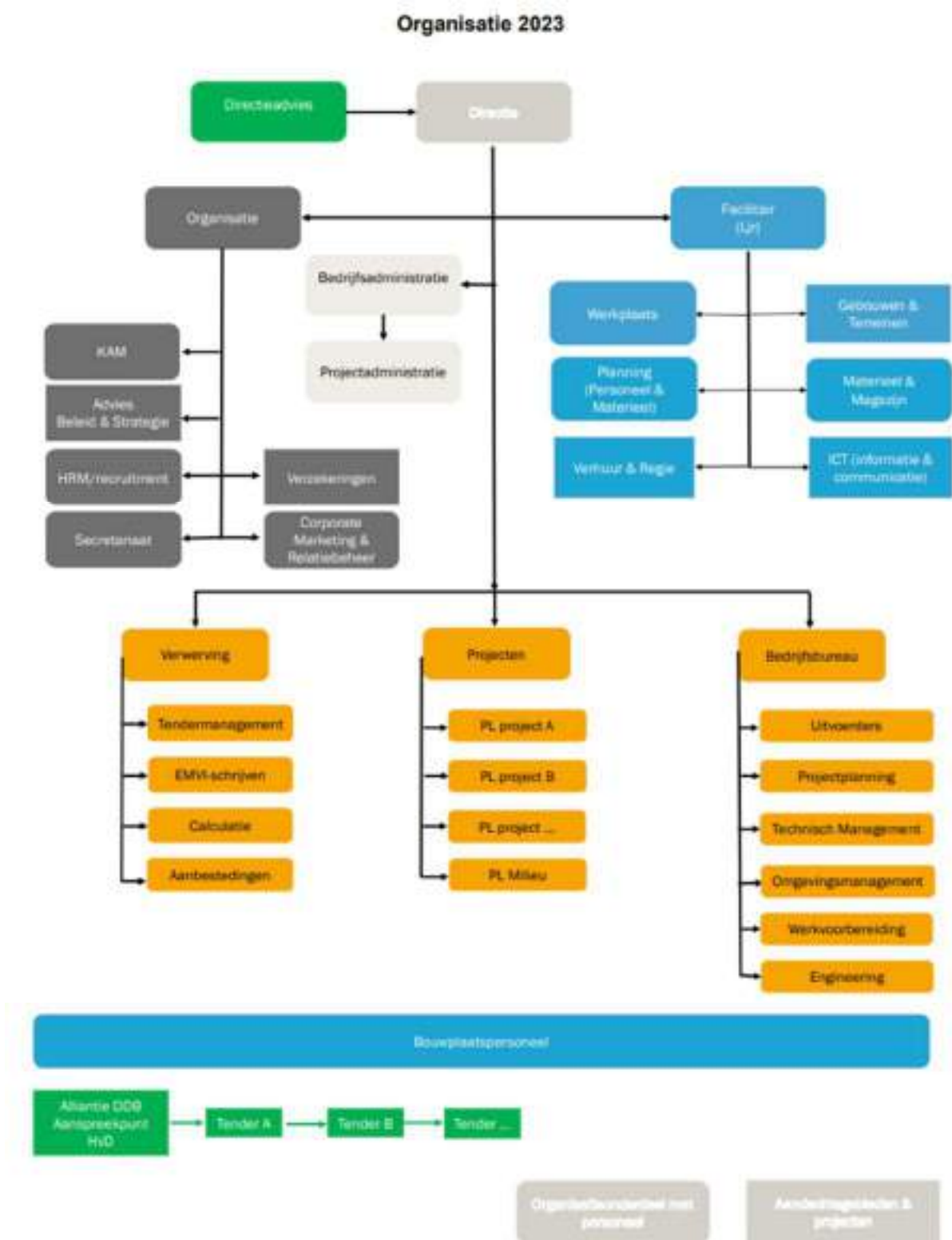


de wereld mooier maken

Inhoud

1	Bijlage – Organogram Van der Ven	3
2	Bijlage – CO ₂ -uitstootgegevens	4
2.1	Wereldwijd.....	4
2.2	Nederland	4
3	Bijlage – (emissie) Factoren per methode.....	5
3.1	Emissiefactoren: Activiteit vs. Productie vs. Uitgaven	5
3.2	Factoren voor de berekeningsmethode voor emissies	6
4	Bijlage – Stakeholderanalyse	7
4.1	Categorisatie stakeholders	7
4.2	Macht, belang diagram	7
5	Bijlage – Voorkeursmaatregelen per periode.....	8
6	Bijlage – Scope 3 analyse.....	9
7	Bijlage – Product- markt combinaties.....	15
	Tabel- en figuurlijst.....	18
	Literatuurlijst	19

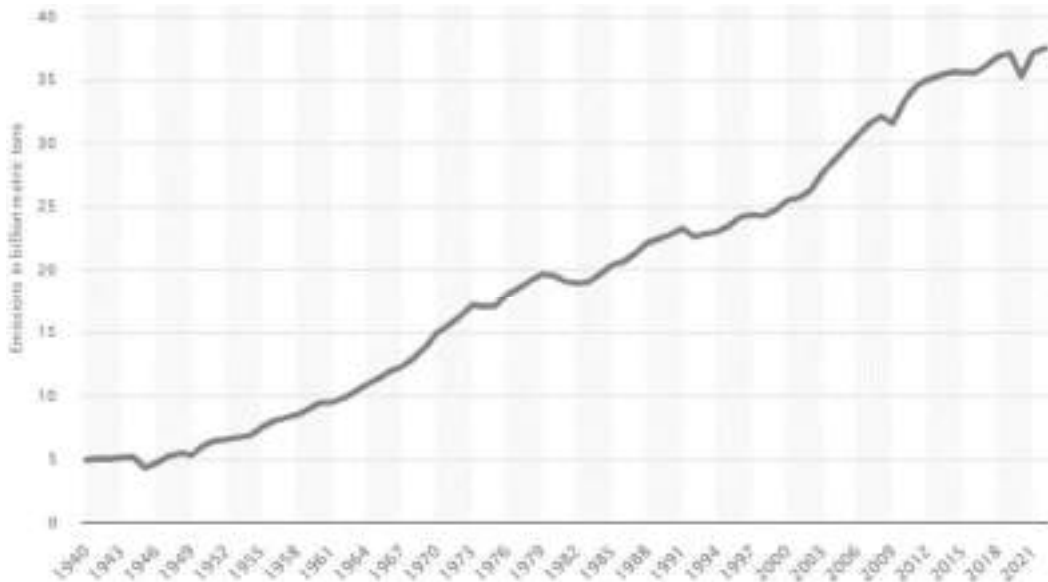
1 Bijlage – Organogram Van der Ven



Figuur 1: Organogram Van der Ven 2022
Aangepast overgenomen uit: Organogram organisatie Van der Ven door Van der Ven, 2022, Brakel: Van der Ven.
Geraadpleegd op 4 september 2023. Copyright 2022, Van der Ven (Van der Ven, 2022)

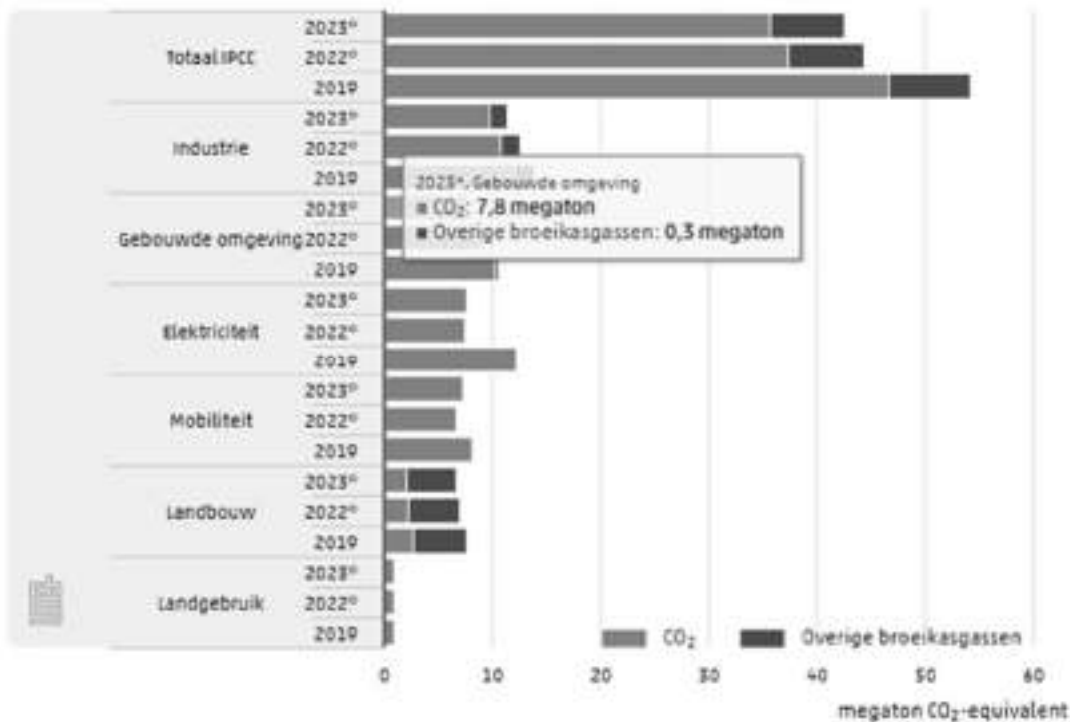
2 Bijlage – CO₂-uitstootgegevens

2.1 Wereldwijd



Figuur 2: Jaarlijkse uitstoot van CO₂ wereldwijd (1940 t/m 2021)
Aangepast overgenomen uit: Annual carbon dioxide (CO₂) emissions worldwide from 1940 to 2022 door Statista, 2022. Geraadpleegd op 25 augustus 2023, van: (<https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>) Copyright 2022, Statista (Statista, 2023)

2.2 Nederland



Figuur 3: Uitstoot broeikasgassen per klimaatakkoordsector in het eerste kwartaal van 2023 in Nederland
Aangepast overgenomen uit: Uitstoot broeikasgassen 4 procent lager in eerste kwartaal 2023 door CBS, 2023. Geraadpleegd op 25 augustus 2023, van: (<https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/24/uitstoot-broeikasgassen-4-procent-lager-in-eerste-kwartaal-2023>) Copyright 2023, CBS (CBS, 2023)

3 Bijlage – (emissie) Factoren per methode

3.1 Emissiefactoren: Activiteit vs. Productie vs. Uitgaven

Tabel 1

Emissiefactoren: Activiteit vs. Productie vs. Uitgaven

Emissiefactoren: Activiteit vs. Productie vs. Uitgaven			
Aspect	Op activiteiten gebaseerde emissiefactoren	Op productie gebaseerde emissiefactoren	Op uitgaven gebaseerde emissiefactoren
Definitie	Emissies worden toegewezen op basis van specifieke activiteiten	De emissies worden toegewezen op basis van het productievolume	De emissies worden toegewezen op basis van financiële uitgaven
Data benodigheden	Activiteit gegevens, proces specifieke emissiefactoren	Productiegegevens, proces specifieke emissiefactoren	Financiële gegevens, sectorspecifieke emissiefactoren
Complexiteit	Kan complex zijn vanwege de behoefte aan activiteit specifieke gegevens	Vaak complex vanwege de behoefte aan productie specifieke gegevens	Relatief eenvoudig te berekenen.
Scope-3 emissiedekking	Varieert afhankelijk van de beschouwde activiteiten en reikwijdte	Beperkte dekking van indirecte en scope-3 emissies	Beter geschikt voor het schatten van indirecte en scope-3 emissies
Toepasbaarheid	Geschikt voor organisaties die zich richten op specifieke activiteiten	Geschikt voor bedrijven met directe controle over de productie	Werkt goed voor bedrijven zonder directe controle over de productie
Gebruikssituaties	Facilitaire dienstverlening, procesoptimalisatie, operationele controle	Facilitaire dienstverlening, procesoptimalisatie, operationele controle	Integraal ketenbeheer, duurzaam inkopen, consumentengedrag

Opmerking. Aangepast overgenomen uit *Activity Based vs Production Based vs Spend Based Emission Factors: A Comprehensive Comparison for Effective Carbon Accounting* door S. Fominova, sd. Geraadpleegd op 29 september 2023, van (<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>). Copyright, Net0 (Fominova, sd)

3.2 Factoren voor de berekeningsmethode voor emissies

Tabel 2
 Factoren voor de berekeningsmethode voor emissies

Factoren voor de berekeningsmethode voor emissies			
Factor	Activiteit gerichte aanpak	Productie gebaseerde aanpak	Op uitgaven gebaseerde aanpak
Data benodigheden	Gedetailleerde activiteit specifieke gegevens	Productievolumegegevens en proces specifieke gegevens	Financiële data en sectorspecifieke emissiefactoren
Complexiteit	Kan complex zijn vanwege de noodzaak van data-analyse	Eenvoudig, maar het kan zijn dat de indirecte emissies niet worden vastgelegd	Vaak eenvoudiger te implementeren, mist mogelijk nauwkeurigheid op activiteitsniveau
Toepasbaarheid	Geschikt voor het identificeren van emissie hotspots	Beter geschikt voor bedrijven met directe controle over de productie	Handig voor bedrijven zonder directe controle over de productie en het inschatten van de uitstoot van de toeleveringsketen
Nauwkeurigheid	Biedt gedetailleerde en nauwkeurige emissieschattingen op activiteitsniveau	Kan voor sommige activiteiten of emissies in de toeleveringsketen minder nauwkeurig zijn	Geeft een algemene schatting van de emissies op basis van financiële gegevens
Relevantie voor bedrijfsvoering	Weerspiegelt specifieke activiteiten en processen die emissies genereren	Weerspiegelt productieprocessen en volume van producten	Weerspiegelt financiële uitgaven en aankoopbeslissingen
Naleving van de regelgeving	Kan vereist zijn door regelgeving of industriestandaarden	Kan vereist zijn door regelgeving of industriestandaarden	Kan vereist zijn door regelgeving of industriestandaarden

Opmerking. Aangepast overgenomen uit Activity Based vs Production Based vs Spend Based Emission Factors: A Comprehensive Comparison for Effective Carbon Accounting door S. Fominova, sd. Geraadpleegd op 29 september 2023, van (<https://net0.com/blog/activity-based-vs-production-based-vs-spend-based-emission-factors-a-comprehensive-comparison-for-effective-carbon-accounting#:~:text=Spent%2DBased%20Emissions%20Factors,-Spend%2Dbased%20emission&text=These%20factors%20are%20calculated>). Copyright, Net0 (Fominova, sd)

4 Bijlage – Stakeholderanalyse

4.1 Categorisatie stakeholders

Tabel 3
Categorisatie stakeholders

Stakeholders	Primair	Secundair
Intern	Projectleider en teamleden (aannemer)	Directie
Extern	Opdrachtgever, adviseurs ¹ , onderaannemers, beton- en staalleveranciers en eindgebruikers.	Grondstoffenleveranciers, cementproducenten, sloopbedrijven, afvalverwerker en Pers & media
Interface	Lokale overheid Wet- en regelgeving	Overheid (EU / nationaal), het Betonakkoord en de Maatschappij

4.2 Macht, belang diagram



Figuur 4: Macht, belang diagram

¹ Onder adviseurs wordt verstaan: architecten, ontwerpers, constructeurs en ingenieurs- en adviesbureaus.

5 Bijlage – Voorkeursmaatregelen per periode

Tabel 4
 Voorkeursmaatregelen per periode

Voorkeursmaatregelen per periode				Doelstellingen en voorkeursmaatregelen
	2024 - 2025	2025 - 2030	2030 >	
1.	Klinkervervanging: hoogovenslak / vliegias	Duurzame brandstoffen (LNG, HVO 100)	Materiaalbesparing: slim ontwerpen ⁸	<u>Minder CO₂ bij productie klinker:</u> Afvangen CO ₂ (CCU/S)
2.	Verduurzaming tijdens het aanbrengen van beton ⁷	Materiaalbesparing: slim ontwerpen ⁸	Alkalische bindmiddelen: hybride beton	<u>Minder CO₂ voor staal (productie):</u> Alternatieve wapening
3.	Materiaalbesparing: slim ontwerpen ⁸	Alkalische bindmiddelen: hybride beton	Duurzame brandstoffen (LNG, HVO 100)	<u>Minder aandeel klinker in cement:</u> Klinkervervanging: hoogovenslak en vliegias (t/m 2025), <u>Daarna:</u> alkalische bindmiddelen: hybride beton
4.	Secundaire grondstoffen: betongranulaat en secundair zand (en evt. water)	Verduurzaming tijdens het aanbrengen van beton ⁷	Secundaire grondstoffen: betongranulaat en secundair zand (en evt. water)	
5.	Klinkervervanging: kalksteenmeel	Secundaire grondstoffen: betongranulaat en secundair zand (en evt. water)	Alternatieve wapening	<u>Minder nieuwe grondstoffen:</u> Secundaire grondstoffen: betongranulaat en secundair zand (en evt. water)
6.	Duurzame brandstoffen (LNG, HVO 100)	Verduurzaming productieproces ⁹	Verduurzaming tijdens het aanbrengen van beton ⁷	
7.	Alternatieve wapening	Elektrisch transport	Elektrisch transport	<u>Minder cement in beton:</u> Stimulatie hydratatieproces: versnellers
8.	Stimulatie hydratatieproces: versnellers	Alternatieve wapening	Verduurzaming productieproces ⁹	
9.	Elektrisch transport	Stimulatie hydratatieproces: versnellers	Cementsteen recycling	<u>Minder CO₂ in de bouw:</u> Materiaal-besparing: slim ontwerpen
10.	Brandstofefficiëntie / duurzaam rijgedrag	Hergebruik van betonnen elementen	Alkalische bindmiddelen: Geopolymeren	<u>Minder CO₂ in de transportfase:</u> Duurzame brandstoffen (LNG, HVO 100)
11.	Hergebruik van betonnen elementen	Klinkervervanging: kalksteenmeel	Waterstof als brandstof	
12.	Alkalische bindmiddelen: hybride beton	Cementsteen recycling	Stimulatie hydratatieproces: versnellers	<u>Minder CO₂ in de bouwfase:</u> Verduurzaming tijdens het aanbrengen van beton
13.	Verduurzaming productieproces ⁹	Waterstof als brandstof	Hergebruik van betonnen elementen	
14.	Secundaire grondstoffen: AEC en ECO-granulaat	Alkalische bindmiddelen: Geopolymeren	Afvangen CO ₂ (CCU/S)	
15.	Slimme bouwplanning / hogere eindsterkte	Slimme transportplanning	Secundaire grondstoffen: AEC en ECO-granulaat	

6 Bijlage – Scope 3 analyse

Op de volgende pagina's is de scope-3 analyse van Van der Ven weergegeven (Zondag, 2022).

CO2 uitstoot per productgroep	
Productgroep	Uitstoot [ton CO2]
Cement, lijm en pleister	28093,9
Ijzer en staal	5794,5
Electrische apparatuur	1956,8
Kunststoffen	876,2
Huren van machines	1556,2
Other service activities	1219,5
Constructie	1034,8
Hout en houtproducten	612,4
Steen, zand en klei	391,4
Agrarische producten	342,0
Machines en uitrusting	266,9
Juridisch, consultancy	139,3
Bank en financieel	128,3
Transport over de weg	106,0
Toiletartikelen	176,2
Onroerend goed activiteiten	10,0
Totale relevante uitstoot scope 3:	42704,5
Uitstoot Goederen:	35832,0
Uitstoot Diensten:	6872,5
Correct	

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

CO2-uitstoot per verzameling (van productgroepen)	
Verzameling	Uitstoot [ton CO2]
Aangekochte goederen en diensten: Arbeid/Onderaanneming	1593,0
Aangekochte goederen en diensten: Goederen/producten	39102,1
Aangekochte goederen en diensten: Machines	1823,1
Aangekochte goederen en diensten: Overig	176,2
Kapitaal goederen	10,0
Brandstof en energie (niet opgenomen in scope 1 of 2)	0
Upstream transport en distributie	0
Productieafval	0
Zakelijk reizen (niet in scope 1&2)	0
Woon-werkverkeer	0
Upstream geleaste activa	0
Downstream transport en distributie	0
Ver- of bewerken van verkochte producten	0
Gebruik van verkochte producten	0
End-of-life verwerking van verkochte producten	0
Downstream geleaste activa	0
Franchisehouders	0
Investerings	0

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

7 Bijlage – Product- markt combinaties

Op de volgende pagina's is de tabel met de Product- markt combinaties weergegeven, gebaseerd op de gegevens uit het ERP-systeem Infracore (Infracore, 2022).

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Organogram Van der Ven 2022	3
Figuur 2: Jaarlijkse uitstoot van CO ₂ wereldwijd (1940 t/m 2021)	4
Figuur 3: Uitstoot broeikasgassen per klimaatkoordsector 1e kwartaal van 2023 in NL	4
Figuur 4: Macht, belang diagram	7

Tabellijst

Tabel 1: Emissiefactoren: Activiteit vs. Productie vs. Uitgaven	5
Tabel 2: Factoren voor de berekeningsmethode voor emissies	6
Tabel 3: Categoriëering stakeholders	7
Tabel 4: Voorkeursmaatregelen per periode.....	8
Tabel 5: Scope 3 analyse	10
Tabel 6: Product- markt combinaties.....	16

Literatuurlijst

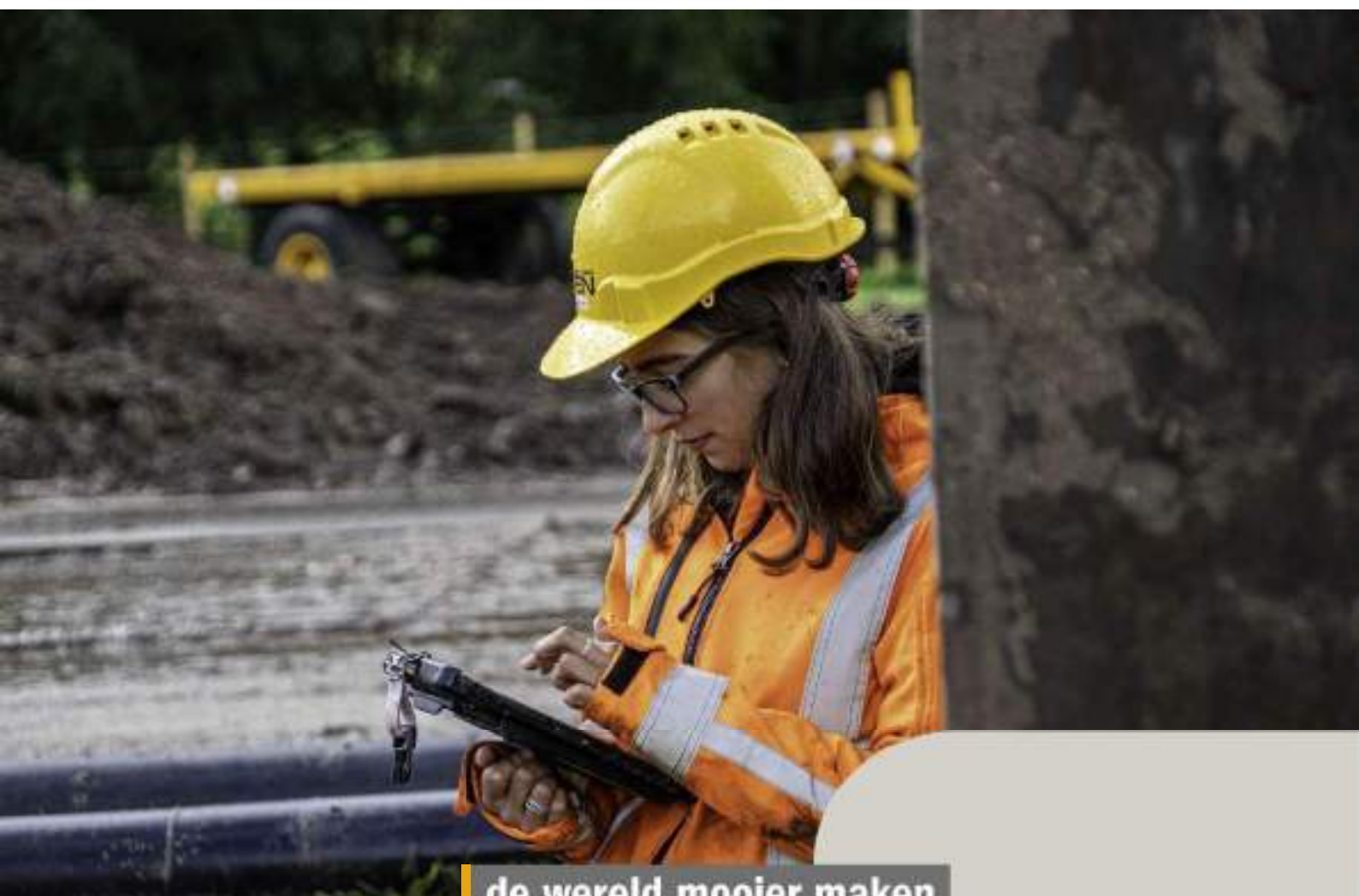
- ▶ CBS. (2023, 14 juni). *Uitstoot broeikasgassen 4 procent lager in eerste kwartaal 2023*. Opgeroepen op 25 augustus, 2023, van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/24/uitstoot-broeikasgassen-4-procent-lager-in-eerste-kwartaal-2023>
- ▶ Fominova, S. (sd). *Activity Based vs Production Based vs 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%2DBasedaccounting#:~:text=Spend%2DBased%20Emissions%20Factors,-Spend%2Dbased%20emission&text=These%20factors%20are%20calculat>
- ▶ Infracore. (2022). *Omzet crediteuren 2022*. Brakel.
- ▶ Statista. (2022). *Annual carbon dioxide (CO₂) emissions worldwide from 1940 to 2022*. Opgeroepen op 25 augustus, 2023, van Statista: <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>
- ▶ Van der Ven. (2022). *Organogram organisatie Van der Ven*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Zondag, H. (2022). *CO₂ uitstoot onderaannemers 2022*. Brakel: Van der Ven.



Toelichting scope 3 analyse

Instructieblad voor de afdeling KAM

Bijlageboekje 1



de wereld mooier maken

Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Scope 3 emissies Van der Ven	4
2.1	Opzet tabel	4
2.2	Methodiek	5
2.3	Standaard gegevens	6
2.4	Resultaten	9
2.5	Discussie	9
	Tabel- en figuurlijst	10
	Figuurlijst	10
	Tabellijst	10
	Literatuurlijst	11

1. Inleiding

Dit document is in het bijzonder opgesteld voor de KAM-afdeling van Van der Ven en ter ondersteuning van hoofdstuk 3.3 van de scriptie "CO₂ reductie van beton".

In dit document wordt de scope 3 analyse, opgesteld door duurzaamheidscoördinator Herman Zondag, verder toegelicht. In de volgende hoofdstukken wordt verder ingegaan op de opzet van de tabel, de gebruikte methodiek, de standaard gegevens waarvan gebruik is gemaakt voor deze berekening en de resultaten.

2. Scope-3 emissies Van der Ven

2.1 Opzet tabel

De tabel met de Scope 3 analyse bestaat uit een drietal tabellen, onderverdeeld in:

- CO₂ uitstoot per crediteur (totaal) (tabel 1)
- CO₂ uitstoot per productgroep (tabel 2)
- CO₂ uitstoot per verzameling (van productgroepen) (tabel 3)

Het eerste gedeelte van deze tabellen zijn in tabel 1 tot en met 3 weergegeven: (Zondag, 2022)

Tabel 1

Scope 3 analyse Van der Ven per crediteur (hoofdtabel)

Scope-3 analyse 2022 - Aannemingsbedrijf G. van der Ven B.V.										
Bedrijfsnaam (crediteuren)	Bedrag	% omzet t.o.v. totaal	Som omzet-percentages	Omschrijving	Codering volgens de Defra LCA lijst	Omreken - factor	Goederen (G) of Diensten (D)	Uitstoot goederen	Uitstoot diensten	Totaal [ton CO2]
		6,0%	6,0%	Beton	A	6,21	G	12931,08	0	12931,1
		0,7%	6,7%	Beton	A	6,21	G	1499,364	0	1499,4
		0,6%	7,3%	Dekvloeren /coating	A	6,21	G	1289,406	0	1289,4
		0,5%	7,7%	Beton	A	6,21	G	1039,967	0	1040,0
		0,4%	8,2%	Beton	A	6,21	G	957,8188	0	957,8

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 2

Scope 3 analyse, productgroepen

CO2 uitstoot per productgroep	
Productgroep	Uitstoot [ton CO2]
Cement, lijm en pleister	28093,9
Ijzer en staal	5794,5
Electrische apparatuur	1956,8
Kunststoffen	876,2
Huren van machines	1556,2
Other service activities	1219,5
Constructie	1034,8

Tabel 3

Scope 3 analyse, verzamelingen van productgroepen

CO2-uitstoot per verzameling (van productgroepen)	
Verzameling	Uitstoot [ton CO2]
Aangekochte goederen en diensten: Arbeid/Onderaanneming	1593,0
Aangekochte goederen en diensten: Goederen/producten	39102,1
Aangekochte goederen en diensten: Machines	1823,1
Aangekochte goederen en diensten: Overig	176,2
Kapitaal goederen	10,0
Brandstof en energie (niet opgenomen in scope 1 of 2)	0
Upstream transport en distributie	0

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

Per tabel is er de mogelijkheid om te filteren op bijvoorbeeld de grootste CO₂-uitstoter. In de eerste tabel is de CO₂-uitstoot per crediteur weergegeven welke de basis vormt voor de tabellen 2 en 3. In de tweede tabel is per productgroep (codering volgens de Defra LCA lijst) de CO₂-uitstoot weergegeven. Tevens is er onderscheid gemaakt in goederen en diensten. In de laatste tabel zijn de productgroepen onderverdeeld in één van de verzamelingen: aangekochte goederen: arbeid / onderaanneming, goederen / producten, machines, overig of in kapitaal goederen, de overige verzamelingen zijn voor Van der Ven niet relevant.

De eerste tabel met de CO₂ uitstoot per crediteur bestaat uit een aantal kolommen (van links naar rechts):

Tabel 4
 Toelichting opzet tabel scope 3 analyse

Kolom	Toelichting
Bedrijfsnaam (crediteuren)	Lijst met alle crediteuren uit het jaar 2022
Bedrag	Het bedrag dat is uitgegeven aan de desbetreffende crediteur
Percentage omzet t.o.v. totale omzet	Het percentage van het bedrag van de desbetreffende crediteur t.o.v. de totale omzet
Som van de omzetpercentages	Bovenstaand percentage plus de som van de percentages in de kolommen erboven om zo tot de 80% grootste CO ₂ uitstoters te komen
Omschrijving	Korte omschrijving van de werkzaamheden
Codering volgens de Defra LCA lijst	Codering van de productgroepen volgens de Defra LCA lijst, een "bedrijfseigen opzet", die aansluit op de codering uit het verleden. Zie hoofdstuk 2.3. (Zondag, 2022)
Omrekenfactor	De omrekenfactor van een bepaalde productgroep, in kg CO ₂ per £ omzet, volgens de guidelines-ghg-conversion-factors (zie hoofdstuk 2.3)
Goederen (G) of diensten (D)	Diensten = inhuren van onderaannemers voor werkzaamheden Goederen = inkoop van materialen die benodigd zijn voor projecten
Uitstoot goederen	CO ₂ uitstoot van de goederen = omzetbedrag x omrekenfactor
Uitstoot diensten	CO ₂ uitstoot van de diensten = omzetbedrag x omrekenfactor
Totale uitstoot [ton CO₂]	Totale uitstoot van het bedrijf, overgenomen de uit kolom uitstoot goederen / diensten

In hoofdstuk 2.3 zijn de standaard gegevens, de guidelines-ghg-conversion-factors (omrekenfactoren) en de codering volgens de Defra LCA lijst weergegeven.

2.2 Methodiek

De scope-3 analyse is gebaseerd op uitgaven gebaseerde emissiefactoren volgens de GHG-conversiefactoren van Defra (DECC en Defra, 2011). Bijlage 13 van dit document: emissiefactoren in de toeleveringsketen voor de uitgaven aan producten, is opgenomen in hoofdstuk 2.3 Door de emissiefactor van een bepaalde productgroep te vermenigvuldigen met het omzetbedrag komt hier de CO₂-uitstoot van het bedrijf uit.

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 CO_{2e} per £). De emissiefactoren van de toeleveringsketen worden uitgedrukt in een standaard koperprijs, de werkelijke verkoopprijs inclusief belastingen op producten en distributiemarges.

Om de factoren uit bijlage 13 te herleiden is een input-outputmodel van de wereldeconomie gebruikt met twee verschillende regio's: Groot-Brittannië (UK) en de rest van de wereld. Met het input-outputmodel worden industriële emissies toegeschreven aan eindproducten die door consumenten worden gekocht. Het resultaat is een schatting van de totale upstream-emissies die verband houden met de levering van een bepaalde productgroep. Echter zijn gedetailleerde berekeningen van deze factoren niet beschikbaar en veelal verouderd.

In de scope-3 tabel kan op diverse manieren gefilterd worden om tot de resultaten te komen. Allereerst is gefilterd op de kolom bedrag (van hoog naar laag), om zo tot de 80% grootste uitstoters te komen, zie de kolommen: percentage omzet t.o.v. totale omzet en de kolom: som van de omzet percentages. Dit zijn de omzetpercentages vanaf minimaal €49 000 omzet. Maar het is ook mogelijk om te filteren op bijvoorbeeld de totale uitstoot in ton CO₂. In de volgende tabel zijn de productgroepen samengesteld, door de uitstoot van de crediteuren met dezelfde productgroep (codering) bij elkaar op te tellen om zo te komen tot de productgroep met de grootste CO₂-uitstoot.

2.3 Standaard gegevens

2.3.1 Codering Defra LCA lijst

Tabel 5
 Codering productgroepen conform de Defra LCA lijst

Code	Product categorie	Code	Productcategorie
A	Cement, lijm en pleister	L	Kantoormachines en computers
S	IJzer en staal	PP	Computerservices
E	Electrische apparatuur	NN	Post en telecommunicatie
K	Kunststoffen	G	Glas en glazen producten
V	Huren van machines	FF	Industrieel gas
QQ	Other service activities	EE	Printmaterialen
X	Constructie	J	Plastics
H	Hout en houtproducten	P	Papier
Z	Steen, zand en klei	U	Opleidingen
GG	Agrarische producten	AA	Water
M	Machines en uitrusting	CC	Pesticiden
R	Juridisch, consultancy	HH	Kleiproducten
F	Bank en financieel	II	Artikelen van steen
Y	Transport over de weg	MM	Gas
DD	Toiletartikelen	KK	Meubels
OO	Onroerend goed activiteiten		
NF	Non ferro metalen		
MP	Metalen producten		
W	R&D		
B	Petroleum, kolen en overige brandstoffen		
LL	Elektriciteit		
D	Verzekeringen en pensioenen		
C	Verf, lakken en printinkt		
BB	Radio, televisie en communicatie		
N	Rubber producten		
Q	Motorvoertuigen		
O	Plastic producten		
JJ	Overige transportmiddelen		
I	Eten en drinken		
T	Kleding		

Opmerking. Aangepast overgenomen uit CO₂ uitstoot onderaannemers 2022 door H. Zondag, 2023, Brakel: Van der Ven. Geraadpleegd op 9 september 2023. Copyright 2023, H. Zondag

2.3.2 GHG-conversionfactors – annex 13

Tabel 6
 GHG-conversiefactoren

Supply chain emission factors for spending on products: kgCO ₂ per £								Total GHG (scope 3)			
SIC code (SIC 2003)	Productcategorie	Carbon Dioxide (CO ₂)	Methane (CH ₄)	Nitrous Oxide (N ₂ O)	HFCs	PFCs	SF ₆	Amount spent by product category (£)	x	Total kg CO ₂ e per £	Total kg CO ₂ e
01	Agriculture products	0.65	1.15	1.47	0.01	0.0009	0.0007		X	3.29	
02	Forestry products	0.46	0.04	0.02	0.03	0.0012	0.0010		X	0.56	
05	Fish products	1.09	0.11	0.04	0.02	0.0014	0.0015		X	1.27	
10	Coat, lignite, peat	2.15	6.52	0.03	0.03	0.003	0.003		X	8.74	
11	Crude petroleum, natural gas	0.81	0.10	0.01	0.00	0.0005	0.0005		X	0.93	
13	Metal ores	1.13	0.11	0.02	0.01	0.0013	0.0014		X	1.27	
14	Stone, sand and clay, other materials	1.21	0.10	0.03	0.01	0.0015	0.0014		X	1.36	
15	Food and drink products	0.55	0.36	0.29	0.01	0.0010	0.0009		X	1.23	
16	Tobacco products	0.07	0.05	0.04	0.00	0.0002	0.0002		X	0.16	
17	Textiles	0.33	0.03	0.02	0.01	0.0003	0.0005		X	0.38	
18	Wearing apparel	0.25	0.04	0.02	0.01	0.0006	0.0005		X	0.32	
19	Leather products, footwear	0.25	0.07	0.05	0.01	0.0004	0.0002		X	0.38	
20	Wood and wood products	0.88	0.06	0.02	0.01	0.002	0.002		X	0.97	
21	Pulp and paper, paper products	0.69	0.05	0.02	0.01	0.0008	0.0008		X	0.77	
22	Printing matter and related services	0.35	0.03	0.01	0.01	0.0007	0.0006		X	0.40	
23	Refined petroleum, coke and other fuels	0.97	0.19	0.01	0.00	0.0005	0.0004		X	1.17	
24.11, 24.12	Industrial gases and dyes	1.39	0.09	0.03	0.02	0.003	0.002		X	1.53	
24.13	Inorganic chemicals	1.06	0.09	0.03	0.02	0.004	0.002		X	1.22	
24.14	Organic chemicals	1.11	0.10	0.09	0.06	0.012	0.002		X	1.38	
24.15	Fertilisers	1.89	0.11	1.71	0.03	0.002	0.0013		X	3.74	
24.16, 24.17	Plastics & synthetic resins etc	1.28	0.11	0.07	0.04	0.007	0.002		X	1.51	
24.2	Pesticides	0.94	0.09	0.04	0.04	0.005	0.002		X	1.12	
24.3	Paints, varnishes, printing ink etc	0.52	0.05	0.03	0.02	0.002	0.0009		X	0.63	
24.4	Parmaceuticals	0.49	0.05	0.03	0.02	0.002	0.0009		X	0.59	
24.5	Soap and toilet preparations	0.34	0.03	0.02	0.01	0.0015	0.0006		X	0.40	
24.6	Other chemical products	0.80	0.07	0.05	0.03	0.005	0.002		X	0.96	
24.7	Man-made fibres	1.8	0.13	0.07	0.06	0.004	0.002		X	2.07	
25.1	Rubber products	0.80	0.05	0.03	0.03	0.002	0.002		X	0.92	
25.2	Plastic products	1.00	0.07	0.04	0.05	0.003	0.002		X	1.16	
26.1	Glass and glass products	1.18	0.06	0.02	0.01	0.002	0.002		X	1.28	
26.2, 26.3	Ceramic goods	0.64	0.04	0.01	0.01	0.002	0.002		X	0.71	
26.4	Structural clay products	1.12	0.08	0.01	0.02	0.0007	0.0009		X	1.23	
26.5	Cement, lime and plaster	6.21	0.79	0.05	0.01	0.0011	0.002		X	7.06	
26.6-26.8	Articles of concrete, stone etc	1.40	0.13	0.03	0.01	0.002	0.002		X	1.57	
27.1-27.3	Iron and steel	3.27	0.11	0.03	0.01	0.006	0.007		X	3.44	
27.4	Non-ferrous metals	2.21	0.09	0.04	0.03	0.058	0.062		X	2.49	
27.5	Metal castings	1.38	0.08	0.02	0.02	0.015	0.036		X	1.55	
28	Metal products	1.21	0.06	0.02	0.01	0.009	0.009		X	1.32	
29	Machinery and equipment	0.73	0.04	0.02	0.01	0.006	0.006		X	0.81	

30	Office machinery and computers	0.63	0.05	0.02	0.04	0.009	0.005		X	0.76	
31	Electrical machinery	0.75	0.05	0.02	0.03	0.010	0.015		X	0.87	
32	Radio, television and communications	0.37	0.03	0.01	0.04	0.006	0.003		X	0.46	
33	Medical and precision instruments	0.44	0.03	0.01	0.04	0.013	0.005		X	0.54	
34	Motor vehicles	0.80	0.05	0.02	0.02	0.008	0.007		X	0.90	
35	Other transport equipment	0.60	0.04	0.01	0.01	0.005	0.004		X	0.67	
36, 37	Furnite, other manufactured goods, recyclin services	0.52	0.04	0.02	0.01	0.0012	0.0010		X	0.58	
40.1	Mains electricity	6.19	0.25	0.05	0.01	0.0006	0.013		X	6.50	
40.2, 40.3	Mains gas	2.72	0.51	0.02	0.01	0.0009	0.005		X	3.26	
41	Mains water	0.64	0.04	0.01	0.01	0.0011	0.0013		X	0.71	
45	Construction	0.49	0.04	0.02	0.01	0.0014	0.0013		X	0.56	
50	Moter vehicle distribution and repair, automotive fuel retail	0.77	0.07	0.03	0.02	0.004	0.003		X	0.90	
51	Wholesale distribution	0.50	0.10	0.05	0.01	0.002	0.0013		X	0.66	
52	Retail distribution	0.32	0.06	0.03	0.03	0.0009	0.008		X	0.44	
55	Hotels, catering, pubs etc	0.38	0.12	0.09	0.01	0.0010	0.0009		X	0.60	
60.1	Railway transport	0.96	0.07	0.06	0.01	0.0015	0.0014		X	1.11	
60.2	Road transport	1.08	0.07	0.02	0.01	0.0011	0.0009		X	1.19	
61	Water transport	2.51	0.08	0.03	0.01	0.0011	0.0008		X	2.63	
62	Air transport	3.21	0.11	0.04	0.01	0.0013	0.0010		X	3.37	
63	Ancillary transport services	0.33	0.03	0.01	0.01	0.0010	0.0007		X	0.38	
64	Post and telecommunications	0.56	0.05	0.02	0.09	0.012	0.004		X	0.72	
65	Banking and finance	0.18	0.02	0.01	0.00	0.0007	0.0004		X	0.21	
66	Insurance and pension funds	0.30	0.03	0.01	0.01	0.0013	0.0008		X	0.36	
67	Auxiliary financial services	0.24	0.03	0.01	0.01	0.0013	0.0007		X	0.29	
70	Real estate activities	0.10	0.01	0.01	0.00	0.0003	0.0003		X	0.12	
71	Renting of machinery etc	0.40	0.07	0.02	0.01	0.0015	0.0012		X	0.50	
72	Computer srvices	0.23	0.03	0.01	0.01	0.0014	0.0008		X	0.28	
73	Research and development	0.46	0.07	0.03	0.01	0.002	0.0011		X	0.58	
74	Legal, consultancy, other business activities	0.17	0.02	0.01	0.01	0.0008	0.0005		X	0.21	
75	Public administration and defence	0.39	0.04	0.01	0.01	0.003	0.002		X	0.46	
80	Education	0.21	0.05	0.02	0.01	0.0005	0.0004		X	0.29	
85	Health and social work	0.33	0.05	0.02	0.01	0.0027	0.001		X	0.42	
90	Sewage and refuse services	0.47	1.42	0.10	0.01	0.001	0.012		X	2.01	
91	Services from membership organisations	0.17	0.02	0.01	0.01	0.0004	0.0003		X	0.20	
92	Recreational services	0.25	0.05	0.03	0.01	0.0008	0.0005		X	0.33	
93	Other service activities	0.30	0.05	0.01	0.01	0.0010	0.008		X	0.38	
TOTAL									X		

Opmerking. Aangepast overgenomen uit 2011 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting (p. 50) door DECC & Defra, 2011. Geraadpleegd op 9 september 2023, van (<https://www.gov.uk/>) Copyright 2011, Crown-auteursrecht.

Rekenvoorbeeld: stel er is in het jaar 2022 4,3 miljoen euro uitgegeven aan betonwerk. Beton valt onder de productgroep cement, lime and plaster (code A, SIC code 26.5). Hierbij hoort de omrekenfactor van 6.21. De totale uitstoot is dan $€4\ 300\ 000 \times 6,21 = 26\ 703\ 000\ \text{kg CO}_2 = 26\ 703\ \text{ton CO}_2$

2.4 Resultaten

Uit de scope-3 analyse van Van der Ven komen de volgende (grootste) uitstoters: (Zondag, 2022)

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 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 |

Hieruit blijkt dat beton ver boven de productcategorieën ijzer en staal en elektrische apparatuur uitspringt. Van de totale relevante uitstoot uit scope 3 is ruim 65% afkomstig van beton.

2.5 Discussie

In hoofdstuk 3.2.3 van de scriptie is de discussie op de gebruikte methode opgenomen.

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Geen gegevens voor lijst met afbeeldingen gevonden.

Tabellijst

Tabel 1: Scope 3 analyse Van der Ven per crediteur (hoofdtabel).....	4
Tabel 2: Scope 3 analyse, productgroepen.....	4
Tabel 3: Scope 3 analyse, verzamelingen van productgroepen.....	4
Tabel 4: Toelichting opzet tabel scope 3 analyse	5
Tabel 5: Codering productgroepen conform de Defra LCA lijst	6
Tabel 6: GHG-conversiefactoren	7

Literatuurlijst

- ▶ 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, van: <https://www.gov.uk/>
- ▶ Zondag, H. (2022). *CO2 uitstoot onderaannemers 2022*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Zondag, H. (2022). *Scope 3 analyse*. Brakel: Van der Ven.



Ketenanalyse beton

Ten behoeve van scriptie en hercertificatie voor de CO₂-Prestatieladder
Bijlageboekje 2



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
	a			
2	-			
	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-/bouwfase (A5)	28
6.4 Gebruiksfase (B)	29
6.5 Sloop-/recyclingfase (C1, C3, D)	29
6.6 Berekening totale keten	30
6.7 Totale keten	34
7. CO2 reductiemogelijkheden	37
8. Reductiemaatregelen	38
9. Plan van aanpak	39
Tabel- en figuurlijst	40
Figuurlijst	40
Tabellijst	40
Literatuurlijst	41

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.

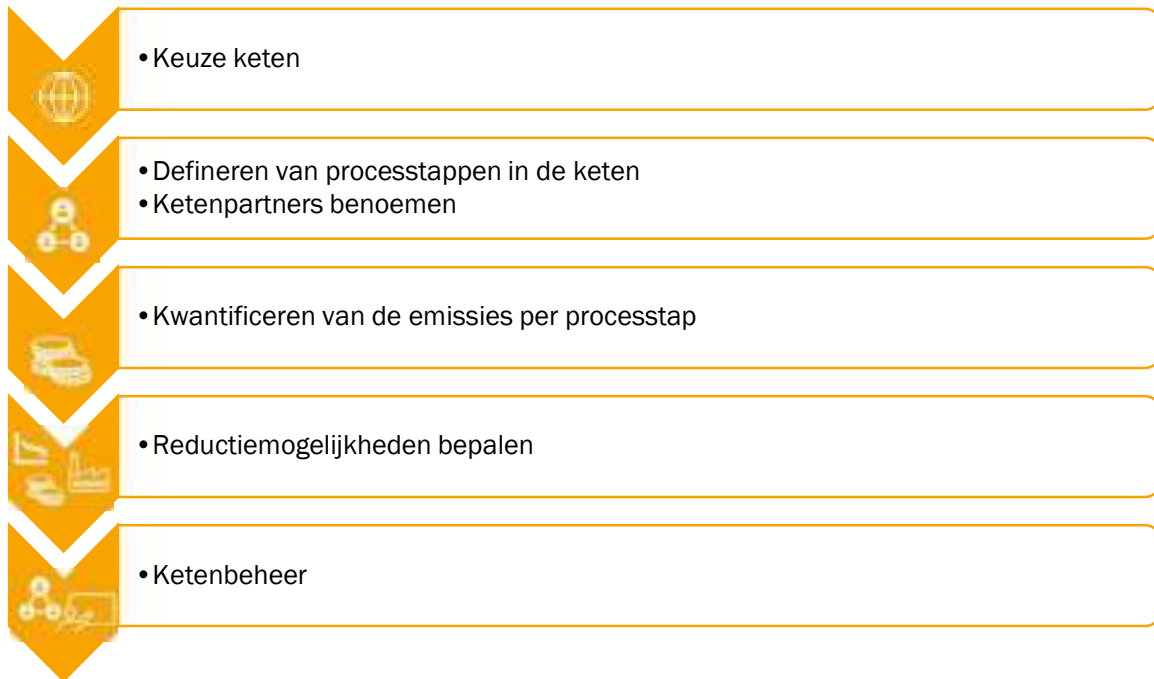
Door de jaren heen is Van der Ven uitgegroeid tot een moderne onderneming met circa 100 werknemers.

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.”¹ (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)

¹ Omdat dit document ook wordt gebruikt met de audit van de CO₂-prestatieladder van 31 oktober en 1 november 2023 kan hier dubbele informatie instaan.

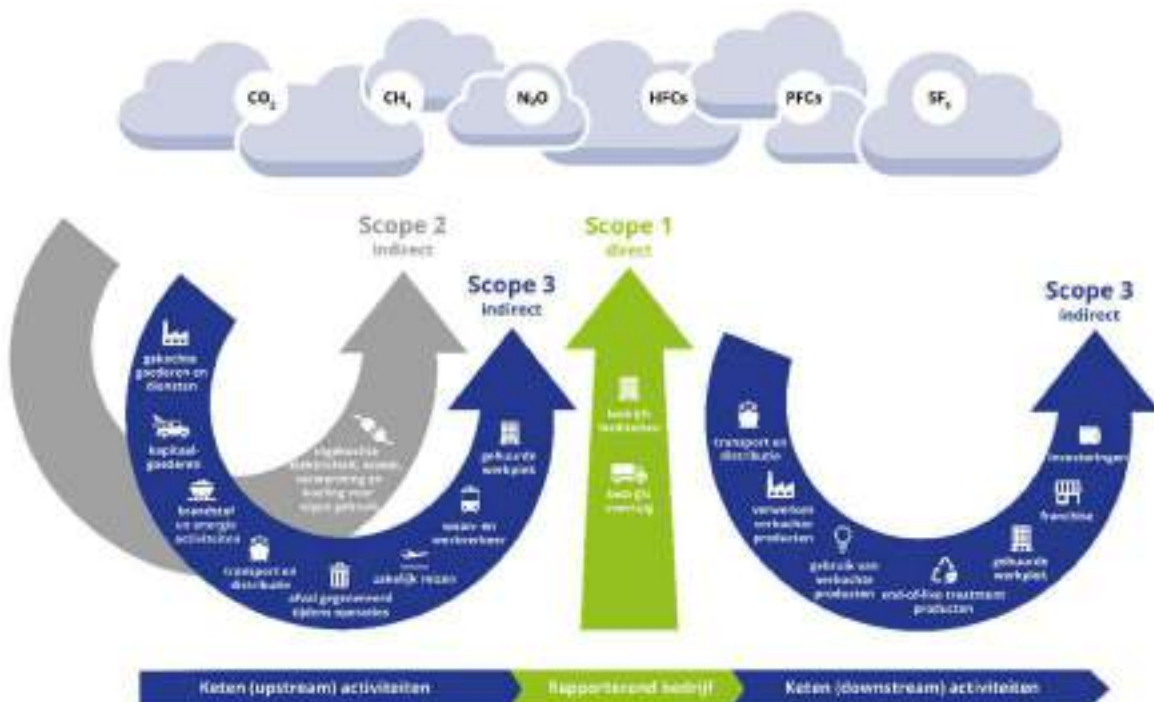
2. Methode

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, Infracore, gebruikt (Infracore, 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 Grondstoffase

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

Markering	Omschrijving	Samenstelling (afhankelijk van cementtype)											Minimale bestanddelen		
		Hoofdbestanddelen													
		CEM I	CEM II	Microsilica (D)	Hoogovenslak (F)	Hoogovenslak (C)	Vliegask (V)	W	T	Leesteel (L)	Puzzolanen (LL)	Composiet (M)			
CEM I	Portlandcement	95-100													0-5
CEM II	/ A - S Portlandlakement	80-94	6-20												0-5
	/ B - Portlandlakement	65-79	21-35												0-5
	/ A - D Portland microsilicacement	90-94		6-10											0-5
	/ A - P Portland puzzolaancement	80-94			6-20										0-5
	/ B - Portland puzzolaancement	65-79			21-35										0-5
	/ A - Q Portland puzzolaancement	90-94				6-20									0-5
	/ B - Portland puzzolaancement	65-79				21-35									0-5
	/ A - V Portland vliegascement	90-94					6-20								0-5
	/ B - Portland vliegascement	65-79					21-35								0-5
	/ A - M Portland leisteelcement	90-94						6-20							0-5
	/ B - Portland leisteelcement	65-79						21-35							0-5
	CEM III	/ A - L Portland kalksteencement	80-94								6-20				0-5
/ B - Portland kalksteencement		65-79								21-35				0-5	
/ A - LL Portland kalksteencement		90-94									6-20			0-5	
/ B - Portland kalksteencement		65-79									21-35			0-5	
CEM V	/ A - M* Portland composietcement	80-94	← 6-20 →											0-5	
	/ B - Portland composietcement	65-79	← 21-35 →											0-5	
CEM III	/ A - Hoogovencement	35-64	35-65												0-5
	/ B - Hoogovencement	20-34	65-80												0-5
	/ C - Hoogovencement	5-19	81-95												0-5
CEM IV	/ A - * Puzzolaancement	65-89		← 11-35 →											0-5
	/ B - Puzzolaancement	45-64		← 36-55 →											0-5
CEM V	/ A - Composietcement	40-64	18-30	← 18-30 →											0-5
	/ B - Composietcement	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.febelcem.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

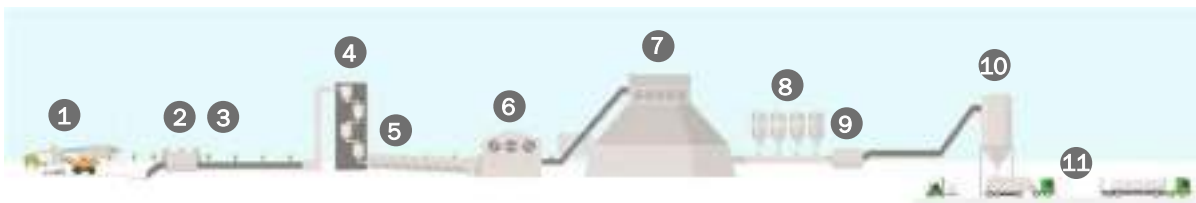
eigenschappen, zoals 'LH' (Low Heat/lage warmteontwikkeling) en 'sr' (Sulphate Resistance/hoge sulfaatbestendigheid). Naast het "normale" Low Heat cement zijn er ook speciale (Very Low Heat) VLH-cementen. Het tweede en derde deel van de naamgeving hebben over het algemeen weinig tot geen invloed op de 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. **Vliegas cement:** Dit type cement wordt geproduceerd door het mengen van portlandcement met vliegas, dat een restproduct is van steenkoolverbranding in energiecentrales. Vliegas is een poederachtig materiaal dat deels de klinker vervangt, waardoor de CO₂-uitstoot wordt verminderd. Het gebruik van vliegas 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=O27gG5GGbsA>) 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, vliegas, 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 decarbonatatieproces, 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. Bruske 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 bruske 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 vliegas, 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 vlieg-as 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 te voren 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

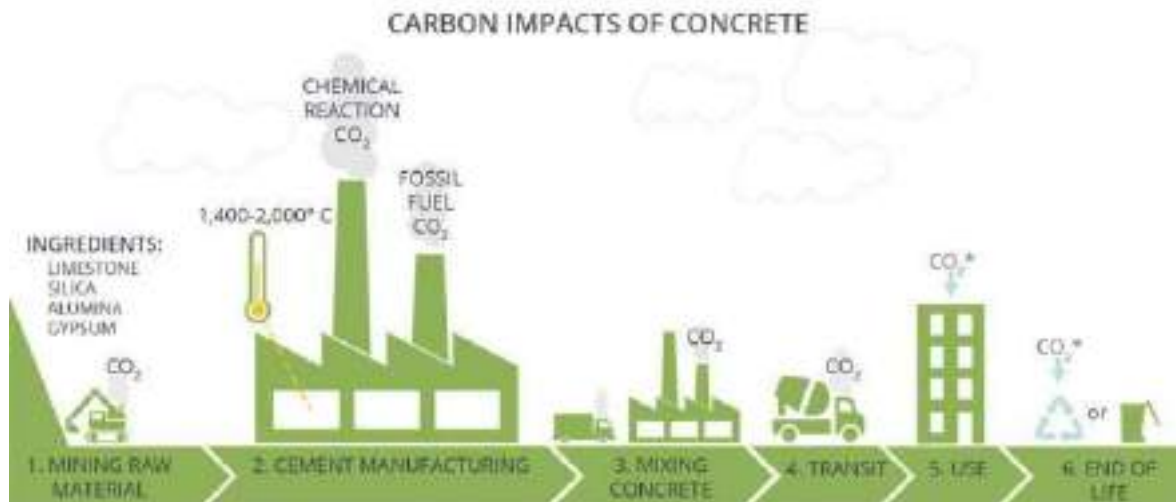
worden gerecycled. Granulaat kan dienen als funderingsonderlaag bij de aanleg van wegen of als vervangende grondstof voor grind in beton (Noordemeer, 2014).

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 ontwerpde aannemer met betoncentrales en sloopbedrijven kan zij wel afspraken maken over CO₂-reductie in de transportfase (Noordemeer, 2014).

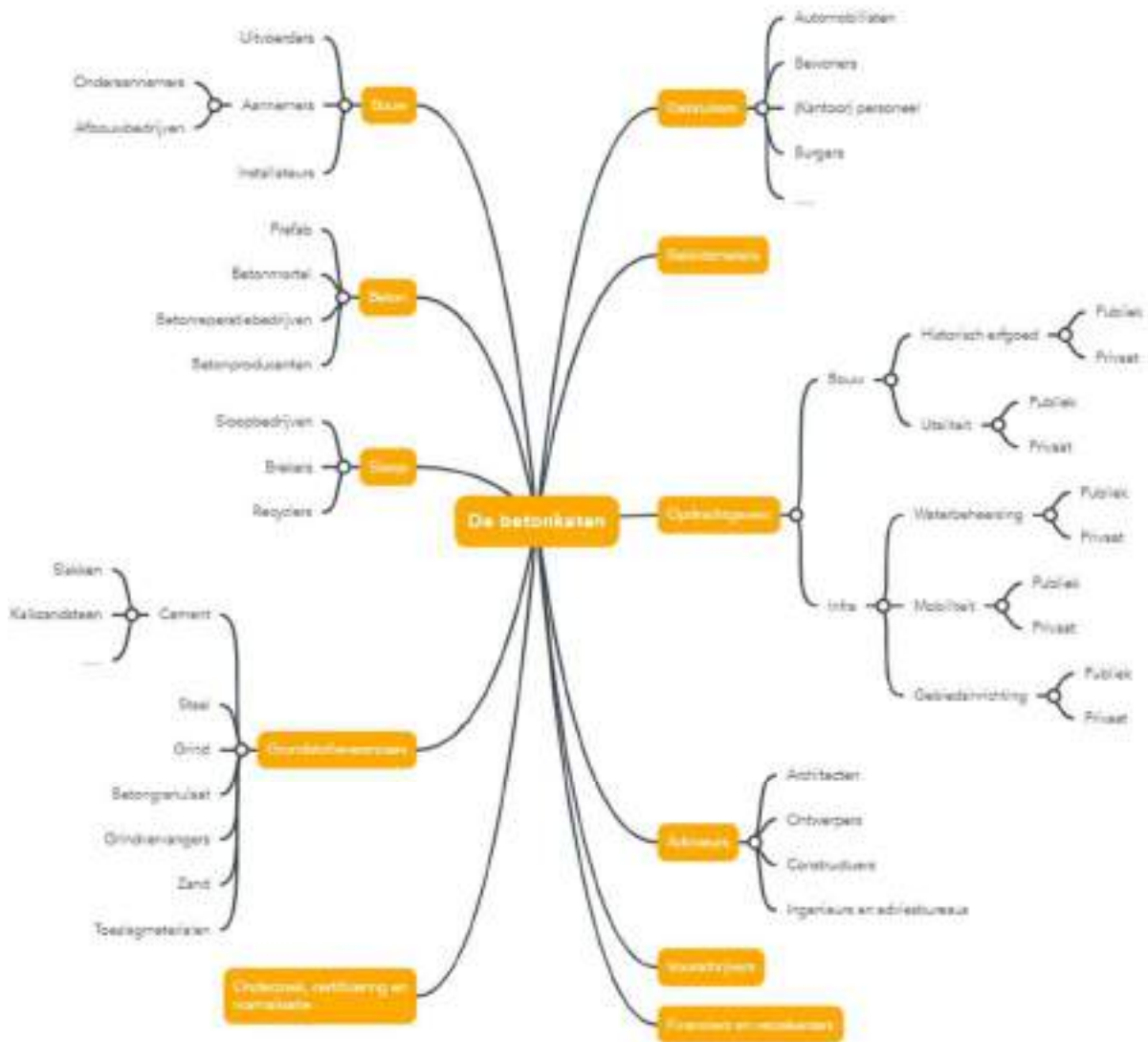
In de onderstaande afbeelding (Pease, 2021) is per fase weergegeven hoe er CO₂ vrijkomt:



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:

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

2. Betonproducenten:

Betoncentrales:

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

Prefab betonleveranciers:

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

Betonmortel (zak):

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

3. Bouwbedrijven en aannemers:

- [Redacted]
- [Redacted]

4. Architecten en ingenieurs:

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

5. Onderhouds- en herstelbedrijven:

- [Redacted]
- [Redacted]

6. Afvoer- / recyclingbedrijven:

- [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]

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/m ³)		
	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
Poederkoolvliegias	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/m ³)		
	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
Poederkoolvliegias	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-/bouwfase (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 Gebruiksfase (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 sloopproces 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/m ³)		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/m ³)		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/m ³)		Klimaatimpact (A4) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Beton	1 m ³ (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/m ³)		Klimaatimpact (A4) /kg en km transport (kg CO ₂ -eq.)	km	Totale impact (kg CO ₂ -eq.)
Grondstof	Hoeveelheid (kg)			
Beton	1 m ³ (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 /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	
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 sloopfase 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
Gebruiksfase	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

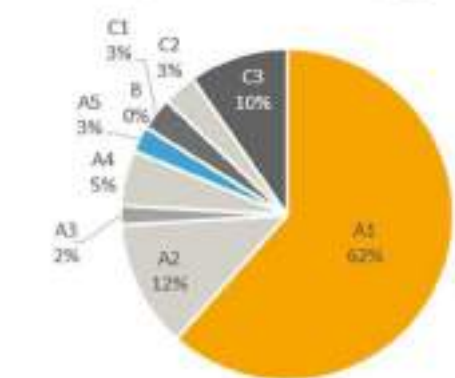
* ZW = zonder wapening

** MW = met wapening

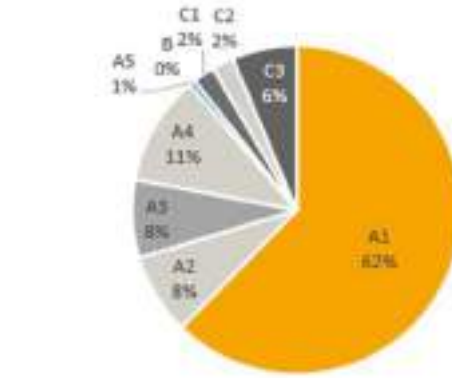
*** Als er met hergebruik geteld wordt, is fase C3 verwerking voor hergebruik en wordt deze voor de helft geteld

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

Klimaatimpact betonmortel (kg CO₂ / m³)



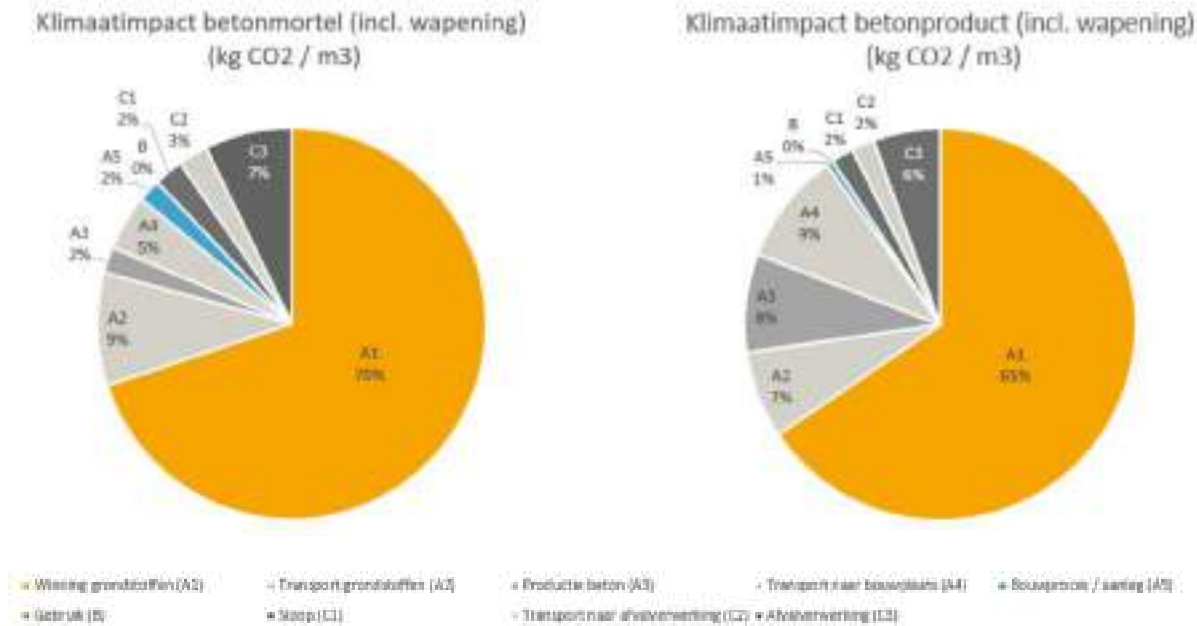
Klimaatimpact betonproduct (kg CO₂ / m³)



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

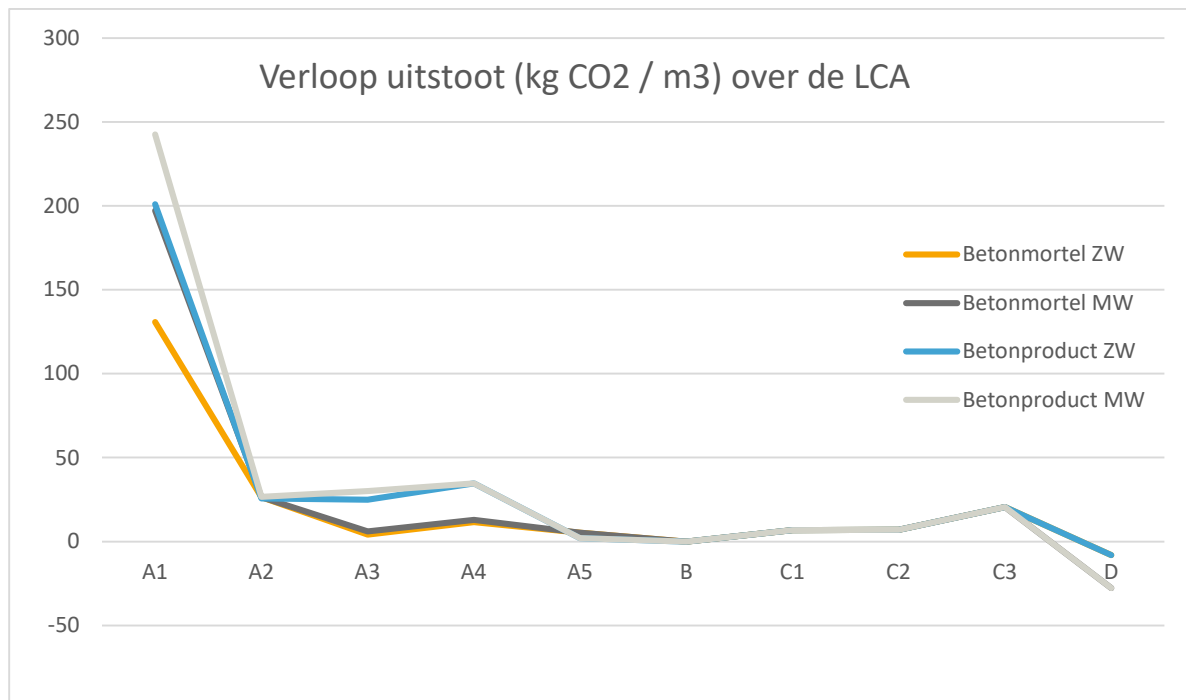
■ Gebruik (B)
 ■ Sloop (C1)
 ■ Transport naar afvalverwerking (C2)
 ■ Afvalverwerking (C3)

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



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.

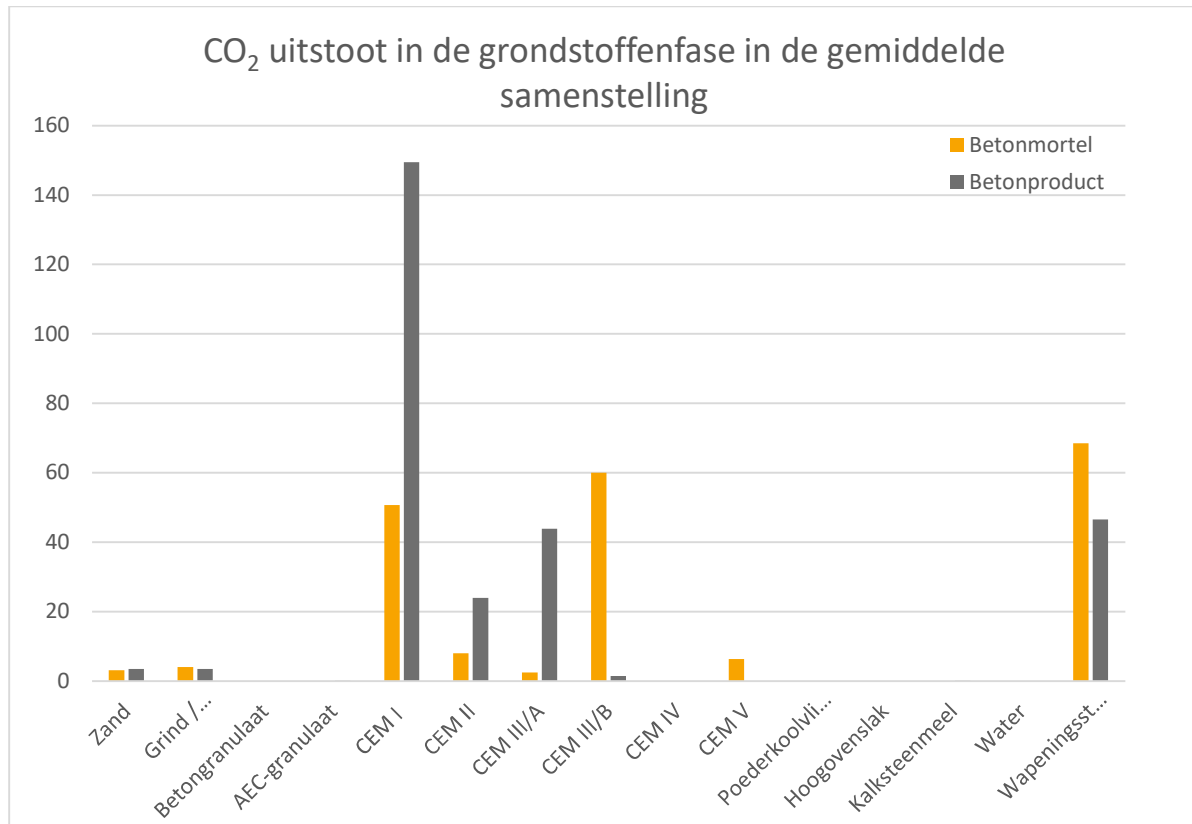


Figuur 10: Lijndiagram verloop van de uitstoot in kg CO₂ / m³

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 bouwfase weer CO₂ bespaart met betonproducten i.r.t. betonmortel;
- ▶ De bouwfase 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 grondstoffenfase. Maar ook in het transport, in de productie van betonproducten en in de sloopfase valt nog te verbeteren. In de bouwfase 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.

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 vliegascement 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 -opslagstechnologieën;
3. **Gebruik van alternatieve bindmiddelen:** het verkennen van alternatieve bindmiddelen, zoals geopolymeer, die minder CO₂ intensief zijn dan cement. Geopolymeer maakt gebruik van een industrieel bijproduct zoals vliegascement 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](#), maatregellijst, zijn nog meer CO₂-reductiemogelijkheden benoemd.

8. Reductiemaatregelen

Zie hoofdstuk 6 scriptie (Aanen, CO2 reductie van beton, 2023, pp. 44-52).

9. Plan van aanpak

Zie implementatieplan in [bijlageboekje 5](#).

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Schema ketenganalyse.....	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=Q27gG5GbsA>
- ▶ 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/>
- ▶ Infraworks. (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
- ▶ Noordemeer, 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)*.



Maatregellijst

CO₂-reductiemaatregelen voor beton, inclusief Multi Criteria Analyse
Bijlageboekje 3



de wereld mooier maken

Inhoud

1.	Inleiding	4
2.	Modellen	5
2.1	Bouwwaarde model	5
2.2	TRL-niveaus	5
2.3	De ladder van Lansink	6
3.	Maatregelen productiefase	7
3.1	Winning grondstoffen (A1)	7
3.2	Alternatieve grondstoffen (A1)	11
3.3	Reststoffen als grondstof (A1)	19
3.4	Transport grondstoffen (A2)	25
3.5	Productie beton (A3) – Mengselsamenstelling	29
3.6	Productie beton (A3) – Productieproces	33
3.7	Productie beton (A3) – CO ₂ als grondstof	35
4.	Maatregelen ontwerp-/bouwfase	38
4.1	Transport naar de bouwplaats (A4)	38
4.2	Ontwerp van betonelementen (A3/A5)	38
4.3	Bouwproces / aanleg (A5)	42
5.	Maatregelen gebruiksfase	47
5.1	Gebruiksfase (B)	47
6.	Maatregelen sloofase	49
6.1	Sloop (C1)	49
6.2	Transport naar de afvalverwerking (C2)	50
6.3	Afvalverwerking (C3)	51
7.	Maatregelen hergebruikfase	52
7.1	Herwinning van grondstoffen (D)	52
7.2	Hergebruik betonconstructies en elementen	54
	Tabel- en figuurlijst	56
	Figuurlijst	56
	Tabellijst	56
	Literatuurlijst	57
	Bijlagen	60

Bijlage 1 - Voorbeeldprojecten

Bijlage 2 - Tabel maatregellijst

Bijlage 3 - Multi Criteria Analyse

1. Inleiding

Dit document bevat beschrijvingen van maatregelen die kunnen worden genomen om CO₂-reductie in de betonketen te bereiken. De maatregelen zijn gecategoriseerd op basis van hun toepassingsgebied en de geschatte tijdsduur voor implementatie. Voor elke maatregel wordt een bereik bepaald waarbinnen de CO₂-reductie valt, inclusief de bijkomende meerkosten of besparingen. De keuze om bepaalde maatregelen in specifieke toepassingsgebieden te implementeren, de timing van implementatie, en de verwachte impact worden bepaald op basis van de analyse van duurzaamheidsopties. Deze maatregelen zijn beoordeeld en gevalideerd door verschillende belanghebbenden om een zo realistisch mogelijke uitvoering te waarborgen.

De maatregelen zijn weergegeven per levenscyclusanalyse van beton:

- ▶ Productiefase (A1 t/m A3);
- ▶ Bouwfase (A4 en A5);
- ▶ Gebruiksfase (B);
- ▶ Sloofase (C1 t/m C3);
- ▶ Hergebruik (D).

Per maatregel is een algemene beschrijving weergegeven en een samenvatting met voor- en nadelen, stimulansen, uitdagingen en realiseerbaarheid. Wanneer de realiseerbaarheid in de markt van de komende 10 jaar valt (scope van dit onderzoek), zal de maatregel worden meegenomen in het onderzoek.

Uiteindelijk zal middels een Multi Criteria Analyse (MCA) worden afgewogen en gedefinieerd welke maatregelen er binnen Van der Ven geïmplementeerd kunnen worden in de komende 10 jaar.

Met betrekking tot innovaties zijn er in bijlage 1 een aantal pilotprojecten worden benoemd om de haalbaarheid en uiteindelijke opschaling van deze innovaties aan te kunnen tonen.

Het uitgangspunt voor berekeningen om het reductiepotentieel te kunnen bepalen is geschat op 15 miljoen m³ betonmortel per jaar in Nederland. Voor de overige uitgangspunten is verwezen naar de bijbehorende bronnen aan de hand van bronvermeldingen.

2. Modellen

In deze maatregellijst zijn er diverse modellen toegepast voor het categoriseren en beoordelen van maatregelen. In dit hoofdstuk worden deze modellen kort toegelicht.

2.1 Bouwwaarde model

Bij een circulair ontwerp worden alle schakels in de keten al vanaf het begin betrokken. Het uitvoeringsteam van het Betonakkoord, gespecialiseerd in Circulair Ontwerpen, heeft het Bouwwaardemodel ontwikkeld om dit proces voor de ketenpartners te vergemakkelijken. Het Bouwwaardemodel is in de figuur hiernaast weergegeven. Een goed ontworpen bouwwerk is veelzijdig inzetbaar gedurende zijn levensduur en bestaat bij voorkeur uit demontabele delen. Er wordt ook rekening gehouden met onderhoud, reparatie en vervanging van deze onderdelen. Het Bouwwaardemodel geeft inzicht in welke activiteiten in de betonketen bijdragen aan een meer circulaire economie. (Bouw Circulair, sd)



In bijlage 2 van dit document is de tabel van de maatregellijst opgenomen. Hierin is de fase van het Bouwwaardemodel weergegeven: de ontwikkel fase (pre-use), gebruiksfase (use) of hergebruiksfase (re-use). Daarnaast is in deze tabel ook de planning fase volgens het Bouwwaardemodel weergegeven, zoals de materiaalkeuze, het bouwproces of het technisch ontwerp. (City of Rotterdam, 2022)

Figuur 1: Het Bouwwaardemodel

Overgenomen van: *Bouwwaardemodel: Circulair ontwerpen door City of Rotterdam, 2022*. Geraadpleegd op 6 december 2023, van: (<https://bewerken.online/innovaties/de-ultieme-rol-in-de-bouwketen>). Copyright 2022, City of Rotterdam.

2.2 TRL-niveaus

De Technology Readiness Levels (TRL's) geven aan in hoeverre een technologie is ontwikkeld. TRL 1 staat voor een technologie in een zeer vroeg stadium van ontwikkeling, terwijl TRL 9 aangeeft dat de technologie zowel technisch als commercieel volledig is ontwikkeld en gereed is om naar de markt te worden gebracht. De 9 levels zijn onderverdeeld in 4 overkoepelende fasen (RVO, 2023):

1. **Verkenningfase:**
 - ▶ TRL 1: fundamenteel onderzoek;
 - ▶ TRL 2: toegepast onderzoek;
 - ▶ TRL 3: toetsing.
2. **Ontwikkelingsfase:**
 - ▶ TRL 4: implementatie en testen prototype;
 - ▶ TRL 5: validatie prototype;
 - ▶ TRL 6: demonstratie prototype in testomgeving.

3. **Demonstratiefase:**
 - ▶ TRL 7: demonstratie prototype in operationele omgeving;
 - ▶ TRL 8: Product / dienst is compleet en operationeel.
4. **Opschalen en vermarkten:**
 - ▶ TRL 9: Markintroductie product / dienst.

Veel innovaties doorlopen in het ontwikkelingstraject de verschillende stadia van de TRL-schaal. Om van de innovatieve maatregelen, benoemd in deze maatregellijst, aan te geven hoe ver deze innovaties zijn, is per maatregel (wanneer van toepassing) het TRL-niveau weergegeven in bijlage 2. Zo kan er worden aangetoond of deze innovaties in de markt van de komende 10 jaar beschikbaar en opschaalbaar zijn.

2.3 De ladder van Lansink

Op de ladder van Lansink of de 10 R-en van circulariteit geeft de mate van circulariteit aan. De R-ladder bestaat uit tien treden (R1 t/m R10, die diverse circulariteitsstrategieën vertegenwoordigen. Strategieën die zich hoger op de ladder bevinden, resulteren in een efficiënter gebruik van grondstoffen. De rangschikking op de R-ladder geeft aan hoe circulair een strategie is, waarbij R1 de hoogste trede vertegenwoordigd. De treden zijn als volgt (RVO, 2020) (Context architecten, 2019):

1. **Refuse:** weigeren / voorkomen gebruik;
2. **Reduce:** gebruik minder grondstoffen;
3. **Redesign:** herontwerp met oog op circulariteit;
4. **Re-use:** product hergebruik (2^e hands);
5. **Repair:** onderhoud en reparatie;
6. **Refurbish:** product opknappen;
7. **Remanufacture:** nieuw product van 2^e-hands;
8. **Re-purpose:** hergebruik product maar anders;
9. **Recycle:** verwerking en hergebruik materialen;
10. **Recover:** energie terugwinning.



In bijlage 2 van dit document is de tabel van de maatregellijst opgenomen. Hierin is voor elke maatregel aangegeven op welke trede van de R-ladder de maatregel zich bevindt.

*Figuur 2: De ladder van Lansink (R-ladder)
 Overgenomen van: De week van de circulaire economie door Context architecten, 2019.
 Geraadpleegd op 6 december 2023, van
<https://www.contextarchitecten.nl/2019/01/17/de-week-van-de-circulaire-economie/>.
 Copyright 2019, Context architecten.*

3. Maatregelen productiefase

De productiefase (LCA fase A1 t/m A3) is overduidelijk de levensfase van beton met de meeste klimaatimpact, en is goed voor zo'n minimaal 76% van de gehele keten blijkt uit de ketenanalyse van beton. Het grootste aandeel hierin zit in de winning van de grondstoffen, fase A1. Onder fase A1 valt naast de winning van toeslagmaterialen ook de productie van klinker voor het uiteindelijke cement, dit CO₂ intensieve productieproces is goed voor ruim 5% van de totale CO₂ uitstoot ter wereld (Kerkhoven, 2022). In deze fase valt er dus nagenoeg het meeste te verbeteren op het gebied van CO₂-reductie. In dit hoofdstuk zullen de maatregelen die kunnen worden getroffen in de productiefase verder worden toegelicht.

3.1 Winning grondstoffen (A1)

3.1.1 Afvangen van CO₂ bij de productie van cement (carbon capture)

De CO₂-emissie die verbonden is aan de productie van cement komt in belangrijke mate vrij bij de productie van klinker (Aanen, Ketenganalyse Beton, 2023, pp. 18-19) en is afkomstig van:

- ▶ Calcinatie: ontbinden van CaCO₃ (kalksteen / mergel) in CaO en CO₂;
- ▶ Verbranding van brandstoffen om de grondstoffen op een temperatuur van 1450 °C te krijgen.

CCU/S = Carbon capture, utilisation and storage, oftewel: koolstofopname, gebruik en opslag.

Bij CCU/S wordt CO₂ uit de productie van klinker opgevangen ten behoeve van benutting of opslag om te voorkomen dat het in de atmosfeer terecht komt (Heidelberg Cement Benelux, sd). Voor koolstofopname zijn momenteel drie technologieën: (Heidelberg Materials, 2020) (Heidelberg Cement)

- ▶ **Opvang na verbranding** – Deze technologie richt zich op het vastleggen van CO₂ aan het einde van het traditionele verbrandingsproces. Aan het einde van het conventionele verbrandingsproces worden zwavel en stikstofoxiden worden uit het rookgas gefilterd. Vervolgens wordt de CO₂ gescheiden van de rest van de uitlaatgassen via een wassysteem met de vloeistof amine. Na scheiding blijft er ongeveer 99% zuivere CO₂ over die als grondstof kan worden gebruikt of wordt opgeslagen.
→ Eerste grootschalige project: CCS in Brevik, Noorwegen (zie bijlage 1)
- ▶ **Zuurstof technologie** - Een andere technologie voor het vastleggen van CO₂ in de cementproductie is de zuurstoftechnologie. Hierbij wordt zuivere zuurstof in plaats van lucht in de oven gebracht om de verbranding te optimaliseren. De uitstootgassen die hierbij ontstaan, worden opnieuw gebruikt in het verbrandingsproces. Vervolgens worden aan het einde van het proces de uitlaatgassen geleid naar een CO₂-opvanginstallatie. Deze gassen ondergaan eerst een eerste compressiefase, waarin zwavel- en stikstofoxiden worden verwijderd. Vochtigheid wordt vervolgens verwijderd door middel van condensatie om corrosie te voorkomen. De fysieke scheiding van de overgebleven gassen zorgt ervoor dat stikstof wordt gescheiden en de concentratie van CO₂ stijgt tot ongeveer 90%. Dit is een energie-efficiëntere manier dan door na verbranding omdat er geen extra warmte nodig is.
→ Pilotproject: Catch4Climate in Mergelsetten, Duitsland (zie bijlage 2)
- ▶ **Directe scheiding** - De derde technologie is de directe splitsing, waarbij een speciale reactor de traditionele cyclonische warmtewisselaar vervangt. In dit directe scheidingsproces wordt kalksteen langzaam in de reactor met hoge temperatuur gevoerd, waar het een temperatuur van ongeveer

1000 graden bereikt. Op dat moment splitst het kalksteen direct in kalkpoeder en koolstofdioxide (CO₂). Het geïsoleerde CO₂ wordt niet vermengd met de uitlaatgassen van het verbrandingsproces en is daarom voor meer dan 95% zuiver. Dit betekent dat het opgevangen CO₂ meteen na het koelingsproces kan worden gebruikt. Daarnaast is er geen inzet van extra warmte of een ander goed nodig voor deze technologie.

→ Pilotproject: LEILAC 1 in Lixhe, België en LEILAC 2 in Duitsland (zie bijlage 1)

De opgevangen CO₂ die niet in de atmosfeer wordt uitgestoten, kan op verschillende waardevolle manieren worden gebruikt of opgeslagen (Heidelberg Materials, 2020) (Heidelberg Cement):

1. **Chemische productie:** CO₂ kan worden gebruikt als grondstof voor de productie van verschillende chemicaliën, zoals methanol, ethanol en andere organische verbindingen. Deze chemicaliën kunnen worden gebruikt in diverse industriële processen;
2. **Plantengroei stimuleren:** CO₂ kan worden omgezet in synthetische brandstoffen, zoals biobrandstoffen, die kunnen worden gebruikt als energiebronnen. Bovendien kan het worden ingezet in de landbouw om de groei van planten te stimuleren, wat gunstig kan zijn voor gewasopbrengsten;
3. **Gebruik in nieuw beton:** CO₂ kan worden geïncorporeerd in de productie van nieuw beton, wat bekend staat als "carbon cure". Dit kan de CO₂-voetafdruk van de bouwsector verminderen (zie hoofdstuk 3.7);
4. **Veilige opslag:** Een belangrijke optie is het veilig opslaan van CO₂, zowel op zee (offshore) als op het land (onshore). Dit wordt vaak aangeduid als CO₂-afvang en -opslag (CCS) of carbon capture and storage. Het houdt in dat CO₂ ondergronds wordt opgeslagen om te voorkomen dat het in de atmosfeer terecht komt.

Het benutten van opgevangen CO₂ op deze manieren draagt bij aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en kan bijdragen aan een meer duurzame en koolstofarme toekomst.

Tussen 2020 en 2030 zullen verschillende technologieën worden getest via grootschalige demonstratieprojecten in landen zoals Canada, Noorwegen, België en Duitsland. De verwachting is dat tussen 2030 en 2040 de eerste cementfabrieken zullen worden uitgerust met Carbon Capture installaties. Na 2040 zal het gebruikelijk worden dat alle cementfabrieken standaard zijn uitgerust met dergelijke installaties. Gedurende deze overgangsfase zullen sommige fabrieken wel over deze Carbon Capture installaties beschikken, terwijl andere dat niet zullen doen. Het is van groot belang om na te denken over hoe om te gaan met de producten van zowel de fabrieken met als zonder deze installaties. (van Gent, 2021, p. 24)

De grootschalige toepassing van Carbon Capture zal afhangen van 3 factoren: (van Gent, 2021, p. 24)

1. Lange termijn visie overheid: Zonder voldoende structurele opslagcapaciteit zal het moeilijk zijn om Carbon Capture-initiatieven succesvol te laten verlopen. Het is van groot belang dat de industrie snel duidelijkheid krijgt over de beschikbaarheid van opslagmogelijkheden, zodat zij tijdig de benodigde investeringen kan plannen en starten. Het is cruciaal voor de toekomst van deze technologie;
2. Positieve business-case: De investeringen in Carbon Capture-technologie zijn aanzienlijk en vereisen een lange termijn benadering voor rendement. Investeerders zullen alleen overwegen om in deze technologie te investeren als ze redelijke zekerheid hebben dat ze hun investering op de

lange termijn kunnen terugverdienen. Dit is een cruciale factor voor het aantrekken van financiële steun voor dergelijke projecten;

3. Infrastructuur voor transport en opslag voor CO₂: Na het vastleggen en liquideren van CO₂ zal een aanzienlijk deel ervan (ongeveer 80-90%) worden opgeslagen in lege gasvelden onder de zeebodem. Tussen 2020 en 2030 zal de noodzakelijke infrastructuur worden ontwikkeld om vloeibare CO₂ vanuit verschillende productielocaties in Nederland en het Roergebied (waaronder staalfabrieken, cementfabrieken, chemische fabrieken en raffinaderijen) te verzamelen en te transporteren naar de haven van Rotterdam. Van daaruit zal het per schip worden vervoerd naar de gasvelden onder de Noordzee. Deze inspanningen zijn van groot belang om de opslag van CO₂ op een effectieve en efficiënte manier te realiseren.

Voordelen:

- ▶ Het is mogelijk om alle CO₂-uitstoot uit klinkerproductie af te vangen;
- ▶ CO₂ kan worden opgeslagen in lege gasvelden onder de zeebodem;
- ▶ CO₂ die is afgevangen, kan worden benut voor waardevolle toepassingen.

Nadelen:

- ▶ Het vereist aanzienlijke investeringen om alle cementfabrieken te voorzien van CO₂-afvanginstallaties;
- ▶ Er is een kostbare infrastructuur nodig om CO₂ op te slaan en te transporteren.

Stimulansen: Overheidsbeleid rond carbon capture technologie.

Uitdagingen: Nog geen positieve business case.

Realiseerbaarheid: Start in 2030 / 100% beschikbaar in 2050.

Aangezien de eerste afvanginstallatie in 2024 operationeel is en er vanaf 2030 meerdere operationele afvanginstallaties beschikbaar zijn, worden deze innovaties meegenomen in de markt van de komende 10 jaar.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.1.2 CO₂-reductie in de staalindustrie

Uit de beschikbare gegevens van de branchevereniging van betonstaalproducenten blijkt geen specifieke opgave beschikbaar te zijn. Daarom worden de volgende aannames gebruikt: (van Gent, 2021, p. 35)

- ▶ De bijdrage van staal aan de CO₂-uitstoot van beton wordt geschat op 450.000 ton per jaar, met een jaarlijks betonvolume van 15 miljoen kubieke meter;
- ▶ Een reductie naar nul koolstofemissies in 2050 en een halvering in 2030 zou betekenen dat in 2030 naar schatting ongeveer 225.000 ton CO₂ minder wordt uitgestoten.

Het is belangrijk op te merken dat hoewel deze verlaging theoretisch mogelijk is, het niet realistisch is om te verwachten dat de Nederlandse (beton)industrie deze doelstelling volledig kan beïnvloeden of realiseren, en daarom wordt dit handelingsperspectief niet gekwantificeerd. Dit benadrukt het belang van bredere maatschappelijke inspanningen en beleidsmaatregelen om dergelijke emissiereducties te bereiken (van

Gent, 2021, p. 35). Deze maatregel valt dus buiten de scope van dit onderzoek omdat dit binnen de markt van de komende 10 jaar hoogstwaarschijnlijk niet mogelijk is.

3.1.3 Duurzame grondstoffenwinning

Zand en grind zijn toeslagmaterialen die worden gewonnen middels delfstofwinning in water (baggeren in de zee / rivier) of op land. Materialen als kalksteen, basalt, graniet en kwarts voor de productie van klinker worden vaak gewonnen uit een groeve. Winning van deze grondstoffen bestaat vaak uit de volgende stappen: (persoonlijke communicatie, september 2023)

- ▶ Vrijgaven / winnen van de grondstoffen met een machine;
- ▶ Transport van de grondstoffen naar een was- en zeef installatie;
- ▶ Wassen en zeven van de grondstoffen;
- ▶ Transport van de grondstoffen naar een productielocatie (betoncentrale / prefabricage).

Bij elk van deze stappen komt er CO₂ vrij door het brandstofgebruik van de machines, transportmiddelen en installaties. Om in deze fase CO₂ te kunnen reduceren kan er gebruik gemaakt worden van de nieuwste motoren (modern wagenpark) en alternatieve brandstoffen zoals HVO 100 (wordt verder toegelicht in hoofdstuk 3.4) waarbij de grootste voorkeur gaat naar elektrisch (met groene energie) of waterstof in de toekomst, waarbij er helemaal geen CO₂ vrijkomt. (persoonlijke communicatie, september 2023)

Voordelen:

- ▶ Vermindering van de CO₂ uitstoot tijdens de grondstoffenwinning;
- ▶ Gezonde werkomgeving;
- ▶ Wanneer groeves voldoende uitgeput zijn worden deze ingericht als natuurgebied (CO₂-opname).

Nadelen:

- ▶ Investerings in nieuw materieel (elektrisch of op waterstof);
- ▶ Bereikbaarheid duurzame brandstoffen;
- ▶ Ontwikkeling waterstof is momenteel nog niet ver genoeg, elektrisch materieel zit ook nog in de kinderschoenen (huidige accupakketten mogelijk nog niet voldoende voor een volledige werkdag).

Stimulansen:	Subsidies vanuit de overheid.
Uitdagingen:	Materieel op elektriciteit / waterstof is nog volop in ontwikkeling.
Realiseerbaarheid:	Elektrisch materieel is al beschikbaar / 100% in 2025; Materieel op waterstof vanaf 2025 / 100% in 2030; HVO 100 momenteel al 100% beschikbaar.

Aangezien de brandstof HVO 100 al 100% beschikbaar is en de ontwikkelingen van elektrisch materieel en materieel op waterstof ook binnen de komende 10 jaar worden gerealiseerd, worden deze innovaties meegenomen in de markt van de komende 10 jaar.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Dekker Groep (zie bijlage 1).

3.2 Alternatieve grondstoffen (A1)

3.2.1 Alternatieve wapening

In de afgelopen decennia zijn er diverse alternatieve wapeningsmaterialen op de markt gekomen voor zowel constructieve als niet-constructieve toepassingen. Deze materialen bestaan uit vezels gemaakt van polymeren, mineralen of biologische materialen, en ze worden gebruikt ter vervanging van traditionele staven of netten. Sommige van deze alternatieven zijn ontworpen om het risico op krimpscheuren te verminderen, terwijl anderen een constructieve functie hebben (van Gent, 2021, p. 41)..

Vezels hebben als voordeel dat ze eenvoudig in de mortel kunnen worden gemengd, waardoor ze veel minder arbeidsintensief zijn dan het plaatsen van traditionele stalen wapening (Betonhuis, 2021a).

Het potentieel voor CO₂-reductie bij het gebruik van alternatieve wapeningsmaterialen is niet gerelateerd aan het bindmiddel (zoals cement), maar eerder aan de traditionele stalen wapening. Bovendien is er vaak minder betondekking nodig bij het gebruik van alternatieve wapening, omdat het risico op corrosie als gevolg van scheurvorming afneemt (Betonhuis, 2021a).

Het exacte CO₂-reductiepotentieel verschilt echter van project tot project, afhankelijk van de specifieke eisen aan de betonnen constructie, zoals sterkte- en milieuklasse. Het is daarom niet mogelijk om een algemene CO₂-reductie te berekenen. Het is echter wel mogelijk om het CO₂-reductiepotentieel van alternatieve wapening, zoals vezels of staven, te bepalen op projectniveau door middel van levenscyclusanalyse (LCA) berekeningen. Deze berekeningen kunnen helpen bij het inzichtelijk maken van de milieu-impact en de CO₂-reductie die kan worden behaald bij het gebruik van deze alternatieve materialen in specifieke bouwprojecten (van Gent, 2021, p. 41).

Voordelen:

- ▶ Verminderd risico op corrosie van wapeningsstaal;
- ▶ Verminderde arbeidskosten omdat alternatieve materialen gemakkelijker te verwerken zijn;
- ▶ Kostenbesparing voor wapeningsmateriaal.

Nadelen:

- ▶ Recycling van cement door het breken van betonpuin kan door de aanwezige vezels moeilijker zijn.

Stimulansen: -

Uitdagingen: Kennis over alternatieve wapening bij constructeurs;
Normering is er nog niet.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar (TRL 9).

Aangezien deze innovatie zich momenteel op level 9 (TRL 9) bevindt en dus technisch en commercieel gereed is en klaar voor de lancering in de markt is dit een realistische maatregel voor de scope van dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.2.2 Belietcement

In het afgelopen decennium hebben verschillende cementproducenten alternatieve soorten klinker ontwikkeld die aanzienlijk lagere CO₂-emissies opleveren. Voorbeelden van dergelijke alternatieve klinkers zijn: (van Gent, 2021, p. 22)

- ▶ CSA (Calcium Sulfoaluminaat);
- ▶ BCT (Belite Calciumsulfoaluminaat Ternesite).

De lagere CO₂-emissie komt voort uit het gebruik van alternatieve grondstoffen met een lager CO₂-aandeel en het gebruik van lagere temperaturen (1250 °C i.p.v. 1450 °C) in het productieproces van de klinker. In vergelijking met Portlandcementklinkers kunnen deze alternatieve klinkers tot wel 30% lagere CO₂-emissies genereren. (Heidelberg Cement, 2021) (van Gent, 2021, p. 22)

De milieuvordelen voor Nederland zijn sterk afhankelijk van de hoeveelheid CEM I die kan worden vervangen. In bepaalde productgroepen kunnen deze alternatieve cementen, mits geschikt en in overeenstemming met de geldende regelgeving, direct Portlandcement (CEM I) vervangen. Enkele van deze productgroepen zijn: betonstraatstenen, veerooster vloeren, kanaalplaatvloeren, industrieplaten, rioleringsystemen, funderingspalen, diverse betonelementen en betonmortel voor bedrijfsvloeren en wegverhardingen. (Heidelberg Cement, 2021) (van Gent, 2021, p. 22)

Voordelen:

- ▶ 30% CO₂ besparing t.o.v. traditionele klinker;
- ▶ Industriële reststoffen als grondstoffen voor klinker productie;
- ▶ Verwerkbaarheid vergelijkbaar met huidige betonsoorten;
- ▶ Snelle sterkteontwikkeling (zeer goede beginsterkte);
- ▶ Lage warmteontwikkeling;
- ▶ Geringere krimp.

Nadelen:

- ▶ Klinker wordt niet in Nederland geproduceerd en moet dus uit het buitenland worden geïmporteerd;
- ▶ Forse investeringen nodig om de ovens aan te passen;
- ▶ Hogere transportkosten (grotere afstand, mindere vracht toegelaten);
- ▶ Nog geen positieve business-case;
- ▶ Constructieve eigenschappen en mogelijkheden voor hergebruik beperkt onderzocht.

Stimulansen: Sterke stijging EUA koers.

Uitdagingen: Business case nog niet positief;
 Hoge investeringen vereist;
 ETA en CE certificatie benodigd.

Realiseerbaarheid: Beschikbaar in 2026 / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar beschikbaar zal zijn, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

[REDACTED]

3.2.3 Solida en andere alternatieven

Solidia Technologies produceert Solidia-cement, dat gebaseerd is op calciumsilicaten en een relatief laag kalkgehalte heeft. Dit cement bevat componenten zoals wollastoniet (CS), rankiniet (C₃S₂), en meliliet (CAS). Wat dit cement onderscheidt, is dat het bij lagere temperaturen wordt geproduceerd in vergelijking met traditioneel Portlandcement, namelijk bij 1200°C in plaats van de gebruikelijke 1400°C of hoger. Bovendien heeft Solidia een octrooi voor het gebruik van magnesiumsilicaten, al dan niet in combinatie met andere materialen. Het gebruik van natuurlijke calciumsilicaten kan echter beperkt beschikbaar zijn. (van Gent, 2021, p. 23)

Het bedrijf beweert dat de productie van Solidia-cement 30% minder CO₂-uitstoot oplevert in vergelijking met Portlandcement. Bovendien wordt bij de verharding van elke ton Solidia-cement 240 kg CO₂ vastgelegd. Dit leidt tot een indrukwekkende reductie van 70% in CO₂-uitstoot in vergelijking met het gebruik van Portlandcement. (van Gent, 2021, p. 23)

Bovendien vereist beton dat is vervaardigd met Solidia cement minder of zelfs geen aanmaakwater (hoewel een zekere vochtigheid wel vereist is). Dit maakt het mogelijk om zowel droge als plastische mengsels te gebruiken. Het toepassen van Solidia cement is mogelijk in verschillende constructie-onderdelen, maar deze moeten poreus zijn of een geringe dikte hebben. Vanwege de benodigde curing (behandeling voor uitharding) is prefab productie momenteel de enige haalbare productiemethode. Gelukkig kunnen diktes tot 25 cm zonder problemen worden gebruikt. (van Gent, 2021, p. 23)

De verharding van Solidia cement verloopt snel, met volledige sterkte bereikt binnen 24 uur. Deze uitharding is exothermisch, wat betekent dat er warmte wordt gegenereerd tijdens het uithardingsproces. Het is belangrijk op te merken dat tijdens dit proces water niet gebonden wordt, en de mate van CO₂-aanvoer is bepalend voor de reactie: calciumsilicaat + CO₂ → calciumcarbonaat + silica-gel. (van Gent, 2021, p. 23)

De reactie bij Solidia cement resulteert in een volumetoename van 62%, voornamelijk binnen de poriën van het materiaal. Een opmerkelijk voordeel van Solidia beton is dat het geen last heeft van uitbloei van kalk. Bovendien verloopt corrosie van wapeningsstaal volgens wetenschappelijke publicaties trager dan bij traditioneel cementbeton. Daarom ligt de nadruk vooral op toepassingen zonder wapening, vanwege de porositeit, de beperkte indringing van chloriden en de lage alkaliniteit. Een interessant aspect is dat aan het einde van de levensduur van het materiaal, Solidia beton kan worden gerecycled en zelfs geregenereerd, wat bijdraagt aan duurzaamheid en milieuvriendelijkheid. (van Gent, 2021, p. 23)

Voordelen:

- ▶ CO₂-binding en daardoor ook reductie (totaal 60-70%);
- ▶ Volledige sterkte wordt bereikt binnen 24 uur.

Nadelen:

- ▶ Geometrische beperkingen;
- ▶ Prismatisch;
- ▶ Poreuze mengsels;
- ▶ Lage pH → niet geschikt voor gewapend beton (staal).

Stimulansen: Duurzaam inkopen, CO₂-tax.

Uitdagingen: Enorme investeringen nodig;

ETA en CE certificatie benodigd;
 Schone CO₂ benodigd.
 Realiseerbaarheid: 2025 (NL) / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar beschikbaar zal zijn, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Holcim (Betonhuis, 2021b)

3.2.4 Alternatief bindmiddel Geopolymeren

Geopolymeren zijn alkalische bindmiddelen die geactiveerd worden door een alkalische stof en bestaan uit twee hoofdcomponenten: een precursor en een alkalische activator. Er zijn verschillende soorten precursors beschikbaar, zowel primaire als secundaire grondstoffen, en deze kunnen al dan niet nadere bewerkingen ondergaan. Deze precursors kunnen worden verkregen door processen zoals smelten, het bakken van klei, of verschillende mechanische opwerkingstechnieken. (Betonhuis, 2021c)

1. Precursor (reactief poeder)	→	Mengen	←	2. Alkalische activator
- Metakolin		↓		- NaOH/KOH
- Hoogovenslakken		↓		- Waterglas
- Vliegas		Bindmiddel		- Alkalicarbonaat/-sulfaat
- Geactiveerde klei				- ...
- ...				+ water

Zoals hierboven te zien is, is er een grote variabiliteit van: gebruikelijke grondstoffen, samenstelling van de activator en combinatie van de vaste stof en activator. Deze variabiliteit heeft invloed op technische prestaties, ecologische- en economische parameters. (Betonhuis, 2021c)

Geopolymeerbeton is klinkervrij cement. In diverse projecten wordt dit beton toegepast op plaatsen waar het weinig tot geen constructieve risico's heeft, denk hierbij aan betontegels, banden, grastegels en straatstenen. (persoonlijke communicatie, september 2023)

De constructieve eigenschappen van geopolymeerbeton en de evolutie ervan in de loop der tijd zijn inderdaad nog onderwerp van voortdurend onderzoek en ontwikkeling. Er is onzekerheid met betrekking tot verschillende aspecten, waaronder de duurzaamheid en de bescherming van wapening in geopolymeerbeton. Het hoge gehalte aan alkaliën in geopolymeerbeton beperkt momenteel de circulaire toepassing ervan, en het wordt voornamelijk gebruikt als funderingsmateriaal of als betongranulaat in nieuwe geopolymeerbetonmengsels. (Betonhuis, 2021c)

Desalniettemin is het duidelijk dat, als deze uitdagingen worden overwonnen, geopolymeerbeton aanzienlijke voordelen kan bieden, vooral als het gaat om het verminderen van CO₂-uitstoot. Het heeft het potentieel om de grootste bron van uitstoot binnen de betonindustrie te vervangen, wat zou leiden tot een aanzienlijke vermindering van de ecologische voetafdruk van betonproductie. Het blijft een veelbelovend gebied van onderzoek en ontwikkeling met betrekking tot duurzame bouwmaterialen.

De voor- en nadelen van geopolymer materialen zijn deels afhankelijk van het type precursor dat wordt gebruikt en de specifieke samenstelling van het bindmiddel, die wordt bepaald door de keuze van zowel de precursor als de activator. (van Gent, 2021)

Voordelen:

- ▶ Grote besparing in CO₂;
- ▶ Beter bestand tegen zouten, chemicaliën en brand;
- ▶ Minder plastische en autogene krimp;
- ▶ Hechting aan staal of verhard beton is goed;
- ▶ Veel reststromen zijn toepasbaar.

Nadelen: (Betoniek, 2023)

- ▶ Andere constructieve eigenschappen;
- ▶ Ander speciegedrag (stijver / stroperiger);
- ▶ Langzamere sterkteontwikkeling;
- ▶ Mechanisch goed verwerkbaar, handmatig minder, moet daarnaast snel verwerkt worden;
- ▶ Levensduurbepalende eigenschappen zijn nog niet volledig bekend;
- ▶ Reactie is meer temperatuurafhankelijk;
- ▶ Deels concurrerend met grondstoffen voor cementbeton;
- ▶ Aanpassingen nodig van productie-installaties;
- ▶ Veiligheidsaspecten i.v.m. alkaliteit;
- ▶ Momenteel nog duurder dan cementbeton.

Stimulansen:	Prestatie gebaseerd uitvragen; Hoge kosten CO ₂ (via MKI); Belemmeren storten mineraal afval (slakken, assen, slib etc.); Schaarste beschikbaarheid slak.
Uitdagingen:	Ontbreken / versnipperende kennis (constructief vs. materiaalkundig); Desinformatie, gebrek aan testcapaciteit; Onvoldoende testcapaciteit; Geen strategische route voor invoering nieuwe materialen / regelgeving.
Realiseerbaarheid:	Beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar beschikbaar zal zijn, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.2.5 Klinkervervanging

Nederland is al wereldwijd koploper in de toepassing van cementsoorten met een laag CO₂-profiel, met name door de grootschalige toepassing van hoogovencement CEM III/B. Men verwacht dat in de komende jaren een deel van het traditionele Portlandcement kan worden vervangen door vulstoffen en cementsoorten waarin een deel van de klinker wordt vervangen door vulstoffen, met name kalksteenmeel,

naast bovenstaande genoemde innovaties. Hierbij kan in 2030 ongeveer 10% vervangen worden door cement met vulstof. (van Gent, 2021, p. 29)

Voordelen:

- ▶ Relatief eenvoudig te introduceren, regelgeving is al beschikbaar.

Nadelen:

- ▶ Tragere verharding → langere bouwtijd;
- ▶ Toename in transportafstanden;

Stimulansen: Streven naar verlaging MKI;
 Toenemende kosten voor CO₂-emissies.

Uitdagingen: *Nederland loopt al voorop in de wereld als het gaat om het vervangen van klinker, vooral door het gebruik van slak. Hoewel er al substitutie van klinker plaatsvindt door materialen zoals kalksteenmeel (vooral als reactie op de schaarste aan vliegias), levert dit in vergelijking met slak / CEM III/A / CEM III/B nog geen aanzienlijke milieuvoordelen op.* (van Gent, 2021, p. 29)

Realiseerbaarheid: Beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

In samenhang met: Beschikbaarheid vliegias / hoogovenslak.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar beschikbaar zal zijn, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.2.6 Gecalcineerde klei

Het calcineren van kleirijke reststromen welke vrijkomen bij baggerwerken, grondoverschotten of grondsanerungen is een effectieve manier om duurzaamheid te bevorderen. Door deze reststromen te verhitten tot temperaturen tussen 600 en 1200°C, wordt gecalcineerde klei geproduceerd. Deze gecalcineerde klei kan tot 30% van het traditionele Portlandcement vervangen zonder significant verlies van sterkte. (van Gent, 2021, p. 44)

Dit proces biedt aanzienlijke voordelen, waaronder:

1. **Hergebruik van reststromen:** het hergebruiken van kleirijke reststromen draagt bij aan een efficiëntere en duurzamere productieketen;
2. **Vermindering van CO₂-uitstoot:** het vervangen van een deel van het Portlandcement door gecalcineerde klei resulteert in lagere CO₂-uitstoot bij de productie van cement, wat bijdraagt aan de vermindering van broeikasgassen;
3. **Behoud van sterkte:** de mogelijkheid om gecalcineerde klei te gebruiken zonder significante sterktevermindering maakt het een aantrekkelijke en duurzame optie voor de bouwsector.

Gecalcineerde kleicementen: (van Gent, 2021, p. 44)

- ▶ Karen Scrivener: LC3 (50K, 30C, 15L, 5BTR) (van Gent, 2021, p. 44);
- ▶ Aalborg Futurecem (62K, 17C, 17LL, 4BTR).

Geschikte kleibronnen: (kaolinite, smectite, illite) (van Gent, 2021, p. 44)

- ▶ Wereldwijd grote hoeveelheden geschikte klei;
- ▶ In Nederland weinig tot geen geschikte klei.

Zolang hoogovenslak beschikbaar is, levert gecalcineerde klei geen verbetering van de CO₂-footprint. In Nederland zijn CEM I cementen al veelal vervangen door CEM II en CEM III cementen. De carbon footprint van CEM II-Q = 550 kg/ton. (van Gent, 2021, p. 44)

Voordelen:

- ▶ Volgens de EN197-1: Q – gebrande nat. puzzolaan is gecalcineerde klei een toegelaten bestanddeel in cement;
- ▶ In vergelijking met CEM I tot 30% lagere CO₂ footprint;
- ▶ Puzzolaacement heeft een goede duurzaamheid.

Nadelen:

- ▶ Calcineren van klei vraagt veel energie;
- ▶ Lagere beginsterkte i.v.m. CEM I, maar wel een vergelijkbare / hogere eindsterkte;
- ▶ Hogere waterbehoefte, zorgt voor hoger cementgehalte of meer hulpstoffen.

Stimulansen: Verminderende beschikbaarheid hoogovenslak

Uitdagingen: Beschikbaarheid voldoende geschikte klei

Investerings in calcinatie plant

Realiseerbaarheid: 2025 / 100% beschikbaar in 2030

→ Onzeker vanwege beschikbaarheid geschikte klei op korte afstand, wordt interessant als er minder hoogovenslak beschikbaar komt.

In samenhang met: Beschikbaarheid hoogovenslak

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, maar pas interessant is bij een verminderende beschikbaarheid van de hoogovenslak, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in de toekomstscenario van dit onderzoek, maar niet als voorkeursmaatregel.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Voorbij Prefab (zie bijlage 1)

3.2.7 Secundaire grondstoffen

Secundaire grondstoffen zijn materialen die worden geproduceerd door het recyclen of hergebruiken van reeds bestaande materialen of producten. Deze materialen zijn afkomstig van gerecyclede of herwonnen bronnen en worden gebruikt als grondstof voor nieuwe producten, in plaats van het winnen van nieuwe grondstoffen uit de natuur. Hierdoor wordt CO₂ gereduceerd. Voorbeelden van secundaire grondstoffen van en voor beton zijn: (persoonlijke communicatie, september 2023)

- ▶ Betongranulaat;
- ▶ Zand;
- ▶ Grind;
- ▶ Schoon cementsteen.

In hoofdstuk 5 en 6, fase C (sloopfase) en fase D (hergebruikfase) zal hier verder op worden ingegaan.

3.2.8 Puzzolan van vulkanische materialen

Lavameel, ook wel bekend als tras, is een materiaal dat is afgeleid van vulkanisch gesteente en wordt gebruikt als een puzzolane vulstof in beton en als grondstof voor cementproductie. Het speelt een belangrijke rol bij het aanpakken van de groeiende vraag naar duurzame bouwmaterialen, als een alternatief voor materialen zoals gegranuleerde hoogovenslak en poederkoolvliegias. (Verweij, 2023)

Vulstoffen worden gebruikt in beton om bepaalde eigenschappen te verbeteren, zoals de verwerkbaarheid. Wanneer deze vulstof reactief is, kan deze bijdragen aan de sterkte en duurzaamheid van beton. In veel gevallen kan lavameel ook cement gedeeltelijk vervangen, waardoor het milieuoetadruk verbetert. Reactieve vulstoffen kunnen ofwel puzzolane of latent hydraulisch zijn en worden geclassificeerd als type II vulstof. Lavameel valt binnen deze categorie. Volgens de EN 197-serie wordt vulkanisch puzzolaan materiaal gecategoriseerd als natuurlijke puzzolanen (code P) en kan het worden toegepast in verschillende cementtypes, waaronder portlandpuzzolaancement, portlandcomposietcement, puzzolaancement en composietcement. Het gebruik van lavameel draagt dus bij aan de diversiteit van duurzame bouwmaterialen in de bouwsector. (Verweij, 2023)

Wanneer lava in zee stroomt of in contact komt met ander water of ijs, ondergaat het een snel afkoelingsproces, zoals recentelijk is waargenomen op locaties zoals La Palma en IJsland. Dit afkoelingseffect kan vergeleken worden met het proces van granuleren, waarbij hoogovenslakken snel afkoelen en daardoor reactief worden. Veel vulkanen bevinden zich in de buurt van kustgebieden, omdat dit vaak de grenzen van tektonische platen zijn. Dit geografische kenmerk heeft het voordeel dat het mogelijk is om materialen over lange afstanden te vervoeren, vaak met behulp van zeeschepen. Hierdoor kunnen vulkanische materialen zoals lavameel efficiënt worden verzameld en getransporteerd voor gebruik in verschillende bouwtoepassingen. (Verweij, 2023)

Voordelen:

- ▶ Volgens de EN197 kan het worden toegepast in CEM II/A-P, CEM II/B-P, CEM II/A-M, CEM II/B-M, CEM IV/A, CEM IV/B, CEM V/A en CEM V/B;
- ▶ Voorkomt scheurvorming ter gevolge van hydratatiewarmte;
- ▶ Gunstige locaties voor transport;
- ▶ Verbeterde eigenschappen zoals een verbetering van het milieuprofiel, een (water)dichte porie-structuur en binding van kalk;
- ▶ Nieuwe CROW-CUR aanbeveling 129.

Nadelen:

- ▶ Sterkteafname tijdens levensduur;
- ▶ Langere sterkteontwikkeling ;
- ▶ Nog veel onbekendheid (onderzoek is nodig);
- ▶ Risico in veiligheid m.b.t. alkaliën.

Stimulansen: Verminderende beschikbaarheid hoogovenslak.

Uitdagingen: Langere sterkteontwikkeling;
 Nog veel onbekendheid over toepassingen.

Realiseerbaarheid: 2025 / 100% beschikbaar na 2030 (TRL 7).

In samenhang met: Beschikbaarheid hoogovenslak.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar hoogstwaarschijnlijk 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

3.3 Reststoffen als grondstof (A1)

3.3.1 Beschikbaarheid vliegas

Vliegas wordt in beton gebruikt met een dubbele functie: als vulstof (om de hoeveelheid fijn materiaal te verhogen) en als bindmiddel. De beslissing om vliegas toe te voegen voor de vulstof functie wordt overgelaten aan de betontechnoloog, afhankelijk van de gewenste verwerkbaarheid en samenhang.

Voor de bindmiddelfunctie van vliegas wordt onderzoek uitgevoerd volgens de Beoordelingsrichtlijn BRL 1802. Hierbij wordt onderzocht hoeveel vliegas als bindmiddel kan worden beschouwd in combinatie met het gebruikte cement. Onderzoek heeft aangetoond dat de reactieve eigenschappen van vliegas sterk kunnen variëren, en dat de keuze van het cement ook een belangrijke rol speelt. Over het algemeen kan ongeveer 30-35% van het oorspronkelijke cement worden vervangen door vliegas (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, p. 17). Cement en vliegas worden gemengd op de betoncentrale of rechtstreeks in de prefabfabriek. Er bestaat ook cement-vliegascombinaties die in de fabriek worden gemengd, zoals bijvoorbeeld portlandvliegasement met een vliegasgehalte van 21-35%. Dit bleek uit de locatiebezoeken aan diverse betoncentrales en prefab fabrikanten. (van Gent, 2021, p. 33)

In Nederland wordt naar schatting 80% van de beschikbare vliegas gebruikt als bindmiddel. Echter, door de sluiting van steenkool gestookte elektriciteitscentrales, het gebruik van alternatieve brandstoffen zoals biomassa in plaats van steenkool, en de verschuiving naar andere energiebronnen, neemt de beschikbaarheid van vliegas af. Voor 2030 wordt verwacht dat er slechts ongeveer 200.000 ton vliegas beschikbaar zal zijn, dit was nog 700 000 ton in 2020. (van Gent, 2021, p. 33)

Deze veranderingen resulteren in een verhoging van 195.000 ton CO₂-uitstoot als gevolg van het vervangen van vliegas door cement (CEM III/A) en alternatieve vulstof (kalksteenmeel) in vergelijking met het jaar 2018. Elke vermindering van 1000 ton vliegas resulteert in een stijging van ongeveer 390 ton CO₂-uitstoot. Van de 800 ton die wordt vervangen door cement (CEM III/A), leidt dit tot een CO₂-uitstoot van 388 ton, terwijl de vervanging van 200 ton door kalksteenmeel resulteert in een CO₂-uitstoot van 3,85 ton. (van Gent, 2021, p. 33)

Deze ontwikkeling hangt dan ook samen met de beschikbaarheid hoogovenslak, geopolymer, gecalcineerde klei en klinkervervanging.

Voordelen:

- ▶ Vliegas is een afvalproduct van de kolencentrales, waardoor er geen CO₂ uitstoot wordt toegekend aan de productie omdat deze buiten de scope van de betonketen valt;
- ▶ Het huidige CO₂ intensieve Portlandcement kan worden vervangen.

Nadelen:

- ▶ De beschikbare hoeveelheid vliegas loopt fors terug in Nederland, transport uit het buitenland brengt weer extra CO₂-uitstoot met zich mee;

- ▶ De vervanging van vliegas door CEM III/A en de alternatieve vulstof kalksteenmeel brengt extra CO₂-uitstoot met zich mee.

Stimulansen:	Wet- en regelgeving omtrent toepassing vliegas is er al; Geen afvalproducten, opvangen voorkomt luchtvervuiling.
Uitdagingen:	Sluiting van de steenkolen gestookte elektriciteitscentrales; Keuze voor andere energiebronnen.
Realiseerbaarheid:	Al bezig / beschikbaarheid tot uiterlijk 2030.

Aangezien vliegas nog beschikbaar blijft (dan wel in mindere mate) in de markt van de komende 10 jaar zal deze maatregel worden meegenomen in dit onderzoek. Wel moet er worden gekeken naar vervangende grondstoffen voor vliegas met weinig CO₂ belasting.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.3.2 Beschikbaarheid hoogovenslak

Voor de hoogovenslak geldt hetzelfde als voor vliegas. De hoogovenslak wordt in beton gebruikt als bindmiddel ter vervanging van het CO₂ intensieve portlandcement en kan voor minimaal 36% (CEM III/A) tot 95% (CEM III/C) worden toegepast ter vervanging van klinker (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, p. 17). Cement en hoogovenslak worden gemengd op de betoncentrale of rechtstreeks in de prefabfabriek. Er bestaan ook cement-hoogovenslak-combinaties die in de fabriek worden gemengd, in de verschillende verhoudingen CEMIII/A, CEMIII/B en CEMIII/C¹. Dit bleek uit de locatiebezoeken aan diverse betoncentrales en prefab fabrikanten (eigen communicatie, september 2023).

De hoogovenslak komt van TATA Steel in IJmuiden en is een afvalproduct van de staalindustrie. Momenteel staat TATA steel erg onder druk, omdat ze hoogstwaarschijnlijk niet aan de eis van de demissionaire minister van klimaat en energie kunnen voldoen om in 2030 zonder steenkool te produceren (Besteman, 2023). Als dit wel lukt heeft dit weer gevolgen voor de kwaliteit van de slak, die hoogstwaarschijnlijk een nieuw productieproces in moet om te kunnen blijven gebruiken in beton. Met deze eis in het vooruitzicht zal een toekomst scenario van 50% reductie van slakproductie bij TATA-IJmuiden worden aangehouden. (van Gent, 2021, p. 38)

Jaarlijks wordt er zo'n 1300 kiloton slak geproduceerd bij TATA-steel in IJmuiden. Als de productie halveert in de komende 10 jaar, zou er jaarlijks 650 kiloton minder slak beschikbaar zijn voor gebruik in de cement- en betonproductie. De 650 kiloton slak komt overeen met 1 miljoen ton CEM III/B. Als er 1 miljoen ton minder CEM III/B beschikbaar is, wordt naar verwachting 1 miljoen ton Portland-kalksteencement gebruikt als vervanging. De carbon footprint (koolstofvoetafdruk) van CEM III/B bedraagt 270 kg per ton, terwijl die van CEM II/A-LL 52,5 N 750 kg per ton is. De extra CO₂-uitstoot als gevolg van de halvering van de slakproductie bij TATA (bij een gelijkblijvende cementbehoefte) zou dan zijn: 1 miljoen ton x (750 - 270) = 480 kiloton per jaar, als gevolg van een hogere klinkerbehoefte. (van Gent, 2021, p. 38)

¹ CEM III/C mag niet in Nederland toegepast worden

Of er in de toekomst een reductie zal zijn in de ruwijzerproductie in IJmuiden is onzeker en afhankelijk van verschillende factoren zoals besluitvorming door TATA, de winstgevendheid van de locatie IJmuiden, de vraag naar staal in de Europese Unie en wereldwijd, en of TATA-IJmuiden succesvol kan overstappen op waterstof als energiebron.

Deze ontwikkeling hangt dan ook samen met de beschikbaarheid hoogovenslak, geopolymerbeton, gecalcineerde klei en klinkervervanging.

Voordelen:

- ▶ Hoogovenslak is een afvalproduct van de staalindustrie, waardoor er geen CO₂-uitstoot wordt toegekend aan de productie omdat deze buiten de scope van de betonketen valt;
- ▶ Het huidige CO₂-intensieve Portlandcement kan worden vervangen.

Nadelen:

- ▶ De beschikbare hoeveelheid hoogovenslak loopt fors terug in Nederland, transport uit het buitenland brengt weer extra CO₂-uitstoot met zich mee;
- ▶ De vervanging van hoogovenslak door Portland-kalksteencement brengt extra CO₂-uitstoot met zich mee;
- ▶ De kwaliteit van de hoogovenslak kan in de toekomst naar beneden gaan doordat TATA steel gaat produceren op andere brandstoffen (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 14-17).

Stimulansen: Wet- en regelgeving omtrent toepassing hoogovenslak is er al;
 Minder afvalproducten.

Uitdagingen: Reductie / uiteindelijk sluiten van TATA-Steel.

Realiseerbaarheid: Al bezig / beschikbaarheid tot uiterlijk 2030.

Aangezien hoogovenslak nog beschikbaar blijft (dan wel in mindere mate) in de markt van de komende 10 jaar zal deze maatregel worden meegenomen in dit onderzoek. Wel moet er worden gekeken naar vervangende grondstoffen voor hoogovenslak met weinig CO₂-belasting.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.3.3 Reactieve vulstof uit bodemas (AEC-vulstof)

In Nederland wordt jaarlijks ongeveer 1,5 miljoen ton bodemas (BA) geproduceerd, dit is het materiaal wat overblijft na verbranding van afval in een afvalenergiecentrale (AEC). Bodemas bevat diverse belangrijke mineralogische fasen. Door middel van reiniging kan vrijwel de volledige stroom hergebruikt worden als toeslagmateriaal, of na specifieke bewerking als bindmiddel in beton. Met name de extractie van (nano)silica uit bodemas is interessant, omdat dit materiaal kan dienen als vulstof, kiemfunctie of pozzolaan in beton. Er wordt geschat dat ongeveer 10-20% van de totale hoeveelheid bodemas kan worden ingezet als bindmiddel als: (van Gent, 2021, p. 34) (Betonhuis, 2021c)

- ▶ MAC bij cementproductie EN 197-1;
- ▶ Activatie bij AAM samen met daarvoor geschikte materialen;
- ▶ Precursur voor geopolymeren (onderzoek naar).

Voordelen:

- ▶ Reductie van CO₂ en stortvolume door klinkervervanging;
- ▶ Recycling van beton als grondstof in 2^e leven beton is mogelijk;
- ▶ CROW-CUR 128 aanbeveling recent verschenen op de markt.

Nadelen:

- ▶ Kennis is nog in ontwikkeling;
- ▶ Weinig draagvlak en marktacceptatie.

Stimulansen: Samenwerking tussen marktpartijen om kennis en ervaring op te doen.

Uitdagingen: Onzekerheid over scheidingstechnieken;
 Relatie tussen druksterkte – overige mechanische eigenschappen;
 Stap van theorie naar praktijk;
 Regelgeving nog niet beschikbaar.

Realiseerbaarheid: 2025 / 100% beschikbaar in 2030.
 → Afhankelijk van kennis over geschikte scheidingstechnieken.

In samenhang met: Geopolymeer beton, AAM.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

3.3.4 Olifantsgras

Vibers is een bijzonder materiaal dat wordt vervaardigd uit olifantsgras (*Miscanthus x Giganteus*), dat lokaal groeit op marginale gronden. Deze grassoort wordt o.a. geteeld in de directe omgeving van Schiphol en was aanvankelijk bedoeld om ganzen te weren van de start- en landingsbanen. (Vibers, sd)

Met behulp van gepatenteerde technologie worden de vezels van olifantsgras omgezet in moderne materialen met hoge technische prestaties en een lage ecologische voetafdruk als leidende principes. Het unieke aan Vibers is dat de technologie schaalbaar is en geschikt voor integratie in bestaande productieprocessen bij bedrijven wereldwijd. Dit maakt Vibers een veelbelovende keuze voor duurzame materialen in diverse toepassingen en sectoren. Het gebruik van lokaal geteeld olifantsgras draagt bij aan duurzaamheid en een verminderde afhankelijkheid van traditionele grondstoffen. Hierbij horen de volgende stappen: (Bouwend Nederland)

- ▶ **Fragmentatie:** fragmenteren van olifantsgras stengels in een deeltjesgrootte van 0,5 mm;
- ▶ **Verstening:** door de deeltjes zeer klein te maken, neemt het tot 300% van het eigen gewicht op aan vocht, waardoor de deeltjes kunnen verstenen;
- ▶ **Mengen:** plaatsvinden van de verstening in combinatie met de juiste mengprocedure. Hierdoor is het een integraal onderdeel van de mix en werkt het als vulmateriaal, daarnaast vervangt het ook een deel van de zandfractie.

Het toevoegen van olifantsgras aan beton heeft aanzienlijke voordelen voor de CO₂-reductie:

- ▶ Bij 5% bijmenging van olifantsgras is er een directe CO₂-reductie van 20 kg per kubieke meter beton;

- ▶ Bij 20% bijmenging van olifantsgras is de directe CO₂-reductie zelfs 81 kg per kubieke meter beton.

Bovendien wordt er door het gebruik van olifantsgras in beton ook CO₂ uit de lucht opgeslagen:

- ▶ Bij 5% bijmenging wordt er 19,5 kg CO₂ per kubieke meter beton opgeslagen;
- ▶ Bij 20% bijmenging wordt er 78 kg CO₂ per kubieke meter beton opgeslagen.

Dit resulteert in een totale CO₂-reductie per kubieke meter beton van 8% tot 31,5%, afhankelijk van het percentage olifantsgras bijmenging. Deze cijfers benadrukken de aanzienlijke milieuvoordelen van het gebruik van olifantsgras in betonproductie. (Bouwend Nederland)

Bovendien bevat de betonmortel verbeterende eigenschappen, zoals hoge isolatie- en akoestische waarden, lichtgewicht, vorstbestendig en hoge technische prestaties en sterkteklassen. Daarnaast blijkt dat olifantsgras beton geschikt is voor het 3D-printen van beton. (Bouwend Nederland)

Voordelen:

- ▶ Groeit op marginale grond (niet gebruikt voor voedsel, dus ook geen concurrentie);
- ▶ Besparing van cement, waardoor CO₂-reductie wordt gerealiseerd;
- ▶ CO₂-opslag;
- ▶ Mogelijk in constructieve toepassingen in combinatie met slak.

Nadelen:

- ▶ Patent op de technologie door het bedrijf Vibers;
- ▶ Lage mechanische sterkte;
- ▶ Gevoeligheid voor vochtige omstandigheden;
- ▶ Vermogen tot vervorming;
- ▶ In Nederland geen voldoende ruimte op dit op grote schaal te laten groeien.

Stimulansen: Verminderende beschikbaarheid hoogovenslak.

Uitdagingen: In Nederland niet toepasbaar op grote schaal (wereldwijd wel).

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, maar pas interessant is bij een verminderende beschikbaarheid van de hoogovenslak, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in de toekomstscenario van dit onderzoek en als maatregel op kleine schaal, maar niet als voorkeursmaatregel.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: BioBound (zie bijlage 1).

Ook wordt er momenteel onderzoek gedaan naar de toepassing van bamboe in beton, maar ook deze biobased oplossing zal voornamelijk interessant zijn voor landen waar Bamboe een lokaal product is, en niet voor Nederland (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 67-68).

3.3.5 AEC-granulaat

Voor AEC-granulaat geldt hetzelfde principe als bij de AEC-vulstof. Voor AEC-vulstof zijn de fijne delen < 1 mm van belang, de fractie >1 mm is interessant voor AEC-granulaat en ziet eruit als een zand/grindmengsel. AEC-granulaat is geschikt voor gebruik in beton met sterkteklassen variërend van C12/15 tot C30/37, zowel voor structurele als niet-structurele toepassingen (met uitzondering van constructies met voorpanstaal). In niet-structurele toepassingen is het toegestaan om zowel de zand- als grindfractie tot maximaal 50% te vervangen door AEC-toeslagmateriaal. Voor structurele toepassingen is het vervangingspercentage echter beperkt tot 20%. (Betonek, 2016)

Voordelen:

- ▶ Reductie van grondstoffen en CO₂ door gebruik van een reststof;
- ▶ CUR aanbevelingen zijn beschikbaar.

Nadelen:

- ▶ Aanwezige aluminium kan voor druksterkteverlies zorgen;
- ▶ Niet toepasbaar in elke betonsamenstelling.

Stimulansen: Streven naar verlaging MKI;
 Toenemende kosten voor CO₂-emissies.

Uitdagingen: Risico's in mogelijke aanwezige materialen in de grondstoffensamenstelling.

Realiseerbaarheid: Nu / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.3.6 ECO-granulaat

ECO-granulaat wordt vervaardigd door het zuiveren van teerhoudend asfalt. Dit teerhoudend asfaltgranulaat wordt in een grote roterende oven geplaatst, waarbij de temperatuur stijgt tot ongeveer 1000 graden Celsius, wat resulteert in de verbranding van alle teercomponenten. De oorspronkelijke grondstoffen van het asfalt blijven echter behouden (Jansen P. , 2021) . Deze aanpak maakt het mogelijk om deze grondstoffen herhaaldelijk te hergebruiken. Voor ECO-granulaat geldt een vervangingspercentage van 30%. (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, p. 20)

Voordelen:

- ▶ Reductie van grondstoffen en CO₂ door gebruik van een reststof.

Nadelen:

- ▶ Grondstoffen asfalt blijven niet in de asfaltketen.

Stimulansen: Streven naar verlaging MKI;
 Toenemende kosten voor CO₂-emissies.

Uitdagingen: -

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

[REDACTED] is momenteel ook aan het experimenteren met de verbranding van asfalt, het materiaal wat hierbij vrij komt kan worden gebruikt ter vervanging voor vliegass (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 21-24).

3.4 Transport grondstoffen (A2)

Uit de ketenanalyse van beton blijkt dat het transport van de grondstoffen naar de producent (betoncentrale of prefab fabrikant) goed is voor een aandeel van 7 tot 12% in de totale levenscyclus van één m³ beton. In tabel 9 van de ketenanalyse is per grondstof weergegeven welk transportmiddel het meest wordt gebruikt en is de gemiddelde transportafstand weergegeven. In dit hoofdstuk worden verschillende maatregelen toegelicht met betrekking tot de verduurzaming van de transportfase.

3.4.1 Elektrisch transport

Door traditionele vrachtwagens en binnenvaartschepen om te bouwen of te vervangen door elektrische vrachtwagens en binnenschepen kan de CO₂-uitstoot in deze transportfase tot 0 worden beperkt. In bijlage 1 is een voorbeeld van elektrisch binnenvaart transport benoemd. Momenteel komt elektrisch bulktransport in deze transportfase niet voor (Betonhuis, 2021d).

Voordelen:

- ▶ CO₂-uitstoot wordt geminimaliseerd tijdens de transportfase.

Nadelen:

- ▶ Investeringskosten in nieuw materieel;
- ▶ Beschikbaarheid laadpunten;
- ▶ Accupakketten zorgen voor minder laadvermogen;
- ▶ Actieradius nog niet voldoende voor zwaar transport en lange transportafstanden (voornamelijk voor vrachtauto's).

Stimulansen: Subsidies vanuit de overheid;
 Europese CO₂ wetgeving (VECTO).

Uitdagingen: Actieradius i.r.t. beschikbaarheid zware laadpunten.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling actueel is en in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar zal zijn, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.4.2 Waterstof als brandstof

Een andere nieuwe alternatieve brandstof is waterstof. Waterstof komt niet in de natuur voor en moet om duurzaam te zijn gemaakt worden van groene stroom en water. Door originele brandstoffen in vrachtwagens

en binnenschepen te vervangen voor waterstof kan de CO₂-uitstoot in deze transportfase tot 0 worden beperkt. Momenteel zijn waterstoftrucks alleen nog maar als proefmodel te krijgen en nog niet beschikbaar in de markt. In bijlage 1 is een voorbeeld van binnenvaart transport op waterstof benoemd. (Rijkswaterstaat, 2020)

Voordelen:

- ▶ CO₂-uitstoot wordt geminimaliseerd tijdens de transportfase;
- ▶ Geschikte brandstof voor zwaar transport en scheepvaart.

Nadelen:

- ▶ Investerings in nieuw materieel;
- ▶ Momenteel weinig productiecapaciteit;
- ▶ Minimale beschikbaarheid infrastructuur en tankmogelijkheden.

Stimulansen: Subsidies vanuit de overheid.

Uitdagingen: Beschikbaarheid infrastructuur / tankmogelijkheden / productcapaciteit.

Realiseerbaarheid: 2025 / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling actueel is en in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar zal zijn, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Worden pilots mee gedraaid in de praktijk door: [REDACTED]

3.4.3 Brandstofefficiëntie en duurzaam rijgedrag

Investeren in moderne voertuigen, welke doorgaans efficiënter en zuiniger zijn dan oudere modellen, resulteert in een betere brandstofefficiëntie en tot minder CO₂-uitstoot per gereden kilometer.

Daarnaast kan ook duurzaam rijgedrag, EcoDrive, bijdragen aan brandstofefficiëntie en dus reductie van de CO₂ uitstoot. Door zo snel mogelijk door te schakelen naar een werkbare versnelling, te rijden met een constante snelheid, te anticiperen op het verkeer, het geleidelijk verminderen van vaart en het regelmatig controleren van de bandenspanning (EcoDrive, sd). Door bijvoorbeeld eerst een jaar het rijgedrag van chauffeurs te monitoren kan vervolgens worden ingespeeld op duurzaam rijgedrag a.d.h.v. coaching. Met een zuinige rijstijl kun je tot 10% brandstof besparen (dus CO₂-uitstoot) en daarnaast bespaart zuinig rijden ook geld door de brandstofbesparing. (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 25-27).

Voordelen:

- ▶ Besparing CO₂-uitstoot (en geld) in het transport zonder investeringen.

Nadelen:

- ▶ Beïnvloedbaarheid rijgedrag chauffeurs.

Stimulansen: Weinig tot geen investeringen nodig.

Uitdagingen: Rijgedrag van chauffeurs aanpassen.

Realiseerbaarheid: 100% beschikbaar.

Ondanks dit maar een relatief kleine maatregel is, helpen alle kleine beetjes en omdat deze maatregel al 100% beschikbaar is zal deze ook mee worden genomen in de markt van de komende 10 jaar.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.4.4 Duurzame brandstoffen

HVO staat voor Hydrotreated Vegetable Oil en betreft een hernieuwbare dieselbrandstof die volledig wordt geproduceerd uit grondstoffen zoals slachtafval, bosafval en andere restmaterialen. Dankzij het gebruik van hernieuwbare bronnen is de totale CO₂-uitstoot van bron tot wiel (Well-to-Wheel) aanzienlijk lager dan bij fossiele dieselbrandstof, namelijk met een indrukwekkende 90% reductie. HVO 100 is in feite een chemische kopie van fossiele diesel, en de moleculaire structuur ervan is bijna identiek aan die van gewone diesel. Hierdoor kan HVO worden gebruikt in traditionele zware voertuigmotoren, zonder dat er aanpassingen aan de motor nodig zijn. (Van Staveren, 2023) (Betonhuis, 2021d)

Een andere alternatieve brandstof is LNG, Liquefied Natural Gas, oftewel vloeibaar gemaakt aardgas. Met 10 tot 15% minder uitstoot van CO₂ per kilometer, en in het geval van BIO-LNG tot wel 95% CO₂-reductie. (Schouten, 2021)

Voordelen:

- ▶ Forse reductie in de CO₂-uitstoot in de transportfase;
- ▶ LNG is goedkoper dan diesel en heeft een grotere energie-inhoud.

Nadelen:

- ▶ HVO 100 is 10-20% duurder dan normale diesel;
- ▶ Voor LNG is een LNG-motor nodig;
- ▶ Minder tankmogelijkheden.

Stimulansen: Weinig tot geen investeringen nodig.

Uitdagingen: Minder tankmogelijkheden.

Realiseerbaarheid: 100% beschikbaar

Aangezien deze ontwikkeling momenteel al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in de markt van de komende 10 jaar.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.4.5 Locatie van de grondstoffen

Een andere manier om CO₂ te besparen in de transportfase is door het zo lokaal mogelijk halen van de grondstoffen. Hierdoor kunnen de transportafstanden geminimaliseerd worden. Zand en grind kunnen namelijk in Nederland worden gewonnen, waardoor de gemiddelde transportafstanden die nu op 158 en 239 km staan (Aanen, Ketenganalyse Beton, 2023, p. 28) verminderd kunnen worden waardoor CO₂

gereduceerd wordt. Echter nadert ook in Nederland het einde voor de zand- en grindwinning door stagnatie in de vergunningverlening. (Infrasite, 2022)

Voor cement is dit niet haalbaar. Klinker, het hoofdbestanddeel van cement, wordt alleen in het buitenland geproduceerd (België of Duitsland). De laatste klinker producent in Nederland, de ENCI, is in 2020 gesloten (NOS, 2019). Ook voor poederkoolvliegias, hoogovenslak en wapeningsstaal geldt dat er in Nederland maar maximaal één producent is, waar de betonproducenten niet omheen kunnen. (persoonlijke communicatie, september 2023)

Voordelen:

- ▶ Reductie van CO₂-uitstoot in de transportfase door kleinere transportafstanden.

Nadelen:

- ▶ Alleen mogelijk voor de grondstoffen zand- en grind;
- ▶ Vergunningverlening verloopt stroef.

Stimulansen: Weinig tot geen investeringen nodig.

Uitdagingen: Vergunningverlening in Nederland.

Realiseerbaarheid: 100% beschikbaar.

Aangezien deze ontwikkeling momenteel al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in de markt van de komende 10 jaar.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.4.6 Slimme transportplanning

Ook door middel van een slimme transportplanning kan CO₂ in de transportfase worden gereduceerd. Door ritten slim te plannen worden er minder kilometers gemaakt. Dat betekent niet alleen tijdswinst, maar ook minder kosten en minder CO₂-uitstoot. Het kan ook lonen om (een deel van het) transport uit te besteden of samen te werken met bedrijven en vrachten te bundelen, waardoor minder lege kilometers gereden hoeven te worden. Als laatste kan de keuze van het transportmiddel ook nog invloed hebben op de CO₂-uitstoot (binnenvaartschip of per as). (persoonlijke communicatie, oktober 2023)

Voordelen:

- ▶ Reductie van CO₂-uitstoot in de transportfase .

Nadelen:

- ▶ Transportplanner benodigd die ervaring heeft met duurzaam plannen (of softwarepakket).

Stimulansen: Weinig tot geen investeringen nodig;

Elektrisch transport vergt een slimme transportplanning.

Uitdagingen: -

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling momenteel al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in de markt van de komende 10 jaar.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

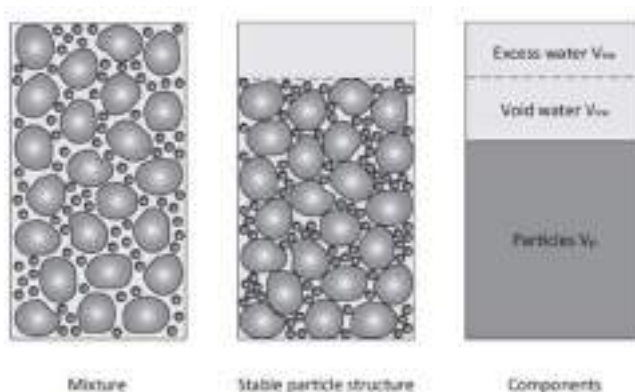
3.5 Productie beton (A3) – Mengselsamenstelling

3.5.1 Korrelpakking

Verse betonspecie bestaat hoofdzakelijk uit twee componenten: toeslagmaterialen, zoals zand en grind en cementlijm, cement en water. De grootste hoeveelheid in het mengsel wordt ingenomen door de zand- en grinddeeltjes, en de ruimtes tussen deze deeltjes worden opgevuld met de cementlijm. Het doel is om deze holle ruimtes zo klein mogelijk te houden, omdat dit de hoeveelheid benodigde cementlijm beïnvloedt. In de praktijk is echter iets meer cementlijm nodig voor een goede verwerkbaarheid dan puur om de holle ruimtes op te vullen. (van Gent, 2021, p. 21)

Betontechnologen streven ernaar om het volume van deze holle ruimtes te minimaliseren door de juiste verhouding van de beschikbare toeslagmaterialen te bepalen. Ze gebruiken zeefanalyses van de individuele toeslagmaterialen om een optimale korrelverdeling voor het mengsel te berekenen. Deze berekening houdt echter geen rekening met de vorm van de korrels, oppervlaktekrachten en andere factoren die van invloed zijn op hoe de korrels zich in elkaar schikken. Bovendien wordt meestal geen optimalisatie toegepast op hoe de poeders (cement en vulstoffen) zich schikken tussen de korrels. (van Gent, 2021, p. 21)

Met behulp van korrelpakkingsmodellen, die meer factoren overwegen dan alleen de korrelverdeling, kan een hogere dichtheid van de korrels worden bereikt. Een hogere korreldichtheid betekent dat er minder cementlijm nodig is, en dus ook minder cement. Minder water in het mengsel is gunstig voor de waterbindmiddelfactor. In de figuur hieronder is de situatie weergegeven (Betonhuis, 2021e).



Figuur 3: Optimale korrelpakking
 Overgenomen uit Webinar 7 – Vulstoffen en optimale korrelpakking [film] door S. Fennis, 2021. Geraadpleegd op 19 oktober 2023, van YouTube: (<https://www.youtube.com/watch?v=9JJhNVG8zY0&t=2291s>) Copyright 2021, Betonhuis.

Het is opmerkelijk dat er weinig praktijkervaringen beschikbaar zijn over het gebruik van deze korrelpakkingsmodellen. Er is wel veel literatuur beschikbaar met veelbelovende resultaten van laboratoriumonderzoeken. Het Uitvoeringsteam Road Map CO₂-reductie schat in dat door het gebruik van korrelpakkingsmodellen uiteindelijk een gemiddelde besparing van 10 kg cement per kubieke meter beton haalbaar moet zijn. Dit zou, op basis van een landelijk gemiddelde zoals CEM III/A, leiden tot een besparing van 4,5 kg CO₂ per kubieke meter. (van Gent, 2021, p. 21)

Voordelen:

- ▶ Minder krimp;
- ▶ Goede korrelpakking levert goede kwaliteit beton (dichte structuur);

- ▶ Minder cement benodigd = CO₂-besparing;
- ▶ Technologie is beschikbaar, past (grotendeels) binnen bestaande regelgeving;
- ▶ Mogelijkheid tot sturen op verhardingstijd;
- ▶ Mogelijk voor alternatieve cementen / geopolymere.

Nadelen:

- ▶ Momenteel onvoldoende beschikbaarheid laboranten / betontechnologen;
- ▶ Meer ingangscntrole benodigd;
- ▶ Meer opslagruimte benodigd;
- ▶ Dichtste pakking is slecht verwerkbaar;
- ▶ Beschikbaarheid van de geschikte grondstoffen op locatie;
- ▶ Minimum cementgehalte benodigd (reactief materiaal);
- ▶ Aanpassingen in software benodigd (softwaremodellen zijn er wel);
- ▶ Weinig praktijkervaringen.

Stimulansen: Toenemende kosten voor CO₂ en cement;
 Streven naar verlaging MKI .

Uitdagingen: Zie nadelen.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2026.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.5.2 Zelf helend beton

Self Healing Agent is een technologie waarbij specifieke micro-organismen aan het betonmengsel worden toegevoegd. Deze micro-organismen hebben de eigenschap dat ze scheuren in het beton herstellen wanneer ze in contact komen met binnendringend water als gevolg van scheurvorming. De voordelen van deze technologie zijn onder andere: (Betonhuis, 2021a)

1. **Verminderde reparatienoodzaak:** Doordat de micro-organismen scheuren in het beton kunnen opvullen, is er minder behoefte aan handmatige reparaties;
2. **Verbeterde waterdichtheid:** Het gebruik van Self Healing Agents resulteert in een betere waterdichtheid van het beton, waardoor de kans op binnendringend vocht wordt verminderd;
3. **Verlenging van de levensduur:** Het herstel van scheuren draagt bij aan de levensduurverlenging van betonconstructies, aangezien vochtinfiltratie en verdere schade worden beperkt;
4. **Minder behoefte aan krimpwapening:** Met Self Healing Agents kan de behoefte aan krimpwapening verminderd worden, wat leidt tot kostenefficiëntie en een lager materiaalverbruik.

Green Basilisk, de leverancier van Self Healing Agents, biedt deze technologie aan als een duurzame oplossing voor het verbeteren van de prestaties en levensduur van betonconstructies.

Voordelen:

- ▶ Geen onderhoudskosten meer voor scheurherstel en een verminderde noodzaak voor krimpwapening.

Nadelen:

- ▶ Kostenverhoging door toevoeging Green Basilisk, wanneer er geen reductie is van krimpwapening.

Stimulansen: Eisen vanuit opdrachtgevers aan scheurvorming en de wijze van herstel .

Uitdagingen: Onbekendheid met zelf helend beton.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

→ Afhankelijk van uitvraag opdrachtgevers.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

3.5.3 Versnellers

Moderne chloride-vrije versnellers spelen een cruciale rol bij het bevorderen van het hydratatieproces van cement, vooral in de vroege stadia (6-12 uur na het storten). Deze versnellers verbeteren de nucleatie, wat resulteert in een versterkte groei van Calcium Silicate Hydrate (CSH) kristallen. Dit maakt het mogelijk om beton te laten uitharden bij lagere temperaturen, het uithardingsproces beter te beheersen en de ontkisting eventueel eerder uit te voeren. Bovendien maken moderne versneller-technologieën het mogelijk om minder cement te gebruiken, of cementtypes met een lager klinkergehalte te gebruiken, waardoor energie-intensieve productieprocessen kunnen worden vermeden. (van Gent, 2021, p. 34)

Met behulp van modern remote systemen kan het uithardingsproces nauwlettend worden gevolgd, waardoor het moment van ontkisting nauwkeuriger kan worden bepaald. De nieuwste generatie versnellers verhoogt niet alleen de vroege sterkte, maar heeft ook invloed op de late sterkte, wat verdere mogelijkheden biedt voor cementreductie. (van Gent, 2021, p. 34)

In de praktijk is gebleken dat een reductie van 20 tot 50 kg cement per kubieke meter beton haalbaar is. Als we uitgaan van CEM III/A als basis, levert dit een CO₂-reductie op van 9 tot 22,5 kg per kubieke meter beton. Bij een conservatieve schatting van 30 kg cementbesparing per kubieke meter beton zou dit een CO₂-reductie van 13,5 kg per kubieke meter beton betekenen. De toepasbaarheid van versnellerstechnologie wordt geschat op ongeveer 50% van het totale betonvolume. Dit toont aan dat moderne versnellers een belangrijke rol kunnen spelen in het verminderen van de milieu-impact van betonproductie. (van Gent, 2021, p. 34) (Betonhuis, 2021e)

Voordelen:

- ▶ Verwarming van mallen of beton is overbodig geworden;
- ▶ Mogelijke verkorting van de bouwtijd;
- ▶ Goede procesbeheersing;
- ▶ Betonwerk in de winter mogelijk;
- ▶ Nog meer voordelen in combinatie met isolatie.

Nadelen:

- ▶ Kostenverhoging per m³ beton.

Stimulansen: Remonte Sensoring maakt effect meetbaar.

Uitdagingen: De onterechte angst voor versnellers, met name in relatie tot corrosie als gevolg van chlorides, kan deels worden toegeschreven aan ervaringen en problemen die zich enkele decennia geleden hebben voorgedaan.

Realiseerbaarheid: Al 100% beschikbaar.

In samenhang met: Bouwplanning en hogere eindsterkte.

Aangezien deze ontwikkeling in de huidige markt al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

2.5.4 Hybride beton

Hybride beton bestaat uit het klassieke mengsel van grind, zand, water, cement en een hoog aandeel hoogovenslakken, echter wordt bij hybride beton het aandeel cement verminderd door als tweede activator een (poedervorming) natrium- of kalk- sulfaat aan het mengsel toe te voegen. Daarmee worden de hoogovenslakken op gang gebracht. Het bindmiddel van het hybride betonmengsel is een combinatie van geopolymerbeton en Portlandcement, zie de onderstaande dikgedrukte reactie (Voorbij Prefab, sd):

- ▶ CEM I = CS (klinker) + H = CSH + CH → Carbonatiebestendig;
- ▶ CEM III = CAS (slak) + H = CASH → Carbonatiegevoelig;
- ▶ **Hybride beton = CAS (slak) + CS (kalk sulfaat) = CASH + CASH → Entringiet.**

Door opschaling van het hybride betonmengsel is nog een vermindering mogelijk van 25 tot 44% CO₂-uitstoot, bij ontkisting van resp. 6 – 18 uur. Daarnaast voldoet het aan de wettelijk gestelde richtlijnen, kwaliteits- en veiligheidseisen. (Voorbij Prefab, sd)

Voordelen:

- ▶ Conform BRL 5070;
- ▶ Cement besparing = CO₂-besparing;
- ▶ Toepasbaar in de prefab industrie.

Nadelen:

- ▶ Beschikbaarheid hoogovenslak.

Stimulansen: CO₂-tax.

Uitdagingen: Beschikbaarheid hoogovenslak.

Realiseerbaarheid: Nu / 100% beschikbaar is onbekend.
 → Onzeker vanwege beschikbaarheid hoogovenslak.

In samenhang met: Beschikbaarheid hoogovenslak / geopolymerbeton.

Aangezien er onbekendheid is of deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar zal zijn, maar deze maatregel momenteel wel beschikbaar is en toegepast wordt, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Voorbij Prefab (Voorbij Prefab, sd) (zie bijlage 1).

3.6 Productie beton (A3) – Productieproces

De maatregelen die specifiek van toepassing zijn op prefabricage in fase A3 en betonmortelproductie in fase A5 zijn gegroepeerd onder één hoofdstuk, namelijk A5. Hierdoor worden de maatregelen die betrekking hebben op deze respectieve fasen samengebracht voor duidelijkheid en overzichtelijkheid.

3.6.1 Reductie in energievoorziening

Tijdens het productieproces van beton, in de betonmortelcentrale of prefab fabriek, is energie benodigd. Het uitgangspunt is het geschatte standaard energieverbruik van 2,2 kWh elektriciteit en 1 liter diesel per kubieke meter betonproductie in zowel een betonmortelcentrale als een prefab fabriek. Hieruit resulteert een emissie van ongeveer 5 kilogram CO₂-equivalent per kubieke meter beton, inclusief productie en on-site logistiek. Dit komt neer op een totale jaarlijkse CO₂-uitstoot van 75.000 ton. Door een aanzienlijke verschuiving naar elektrificatie en de gedeeltelijke overgang naar biodiesel of andere duurzame energiebronnen kan deze emissie aanzienlijk worden verminderd, met een doel van twee derde reductie, wat neerkomt op 50.000 ton CO₂-equivalent per jaar. (van Gent, 2021, p. 36) (Betonhuis, 2023f)

Enkele maatregelen die kunnen worden getroffen om de energievoorziening tijdens het productieproces te verduurzamen zijn: (persoonlijke communicatie, oktober 2023)

- ▶ Productieproces elektrificeren, van gas naar groene stroom (zonnepanelen / windmolens) ;
→ in de toekomst mogelijk naar waterstof?
- ▶ Verwarmen d.m.v. gebruik van bodemenergie (Verticale bodemopslag / WKO) of het gebruik van restwarmte;
- ▶ Efficiënt omgaan met energie: **alleen** verwarmen wanneer nodig, sluisverbruik tegen gaan, toepassen ledverlichting, isoleren (zo veel mogelijk dichthouden productiehallen);
- ▶ Hergebruik van warmte in de klimaatkamers, de warmte die vrijkomt bij het uitharden van beton gebruiken als verwarming (in het geval van prefab).

Naast het verduurzamen van het productieproces, kunnen ook de omliggende activiteiten verduurzaamd worden, zoals de energievoorziening van de kantoren en het elektrificeren van het intern transport.

Voordelen:

- ▶ Reductie in de energievoorziening (en CO₂-uitstoot);
- ▶ Investeringskosten kunnen zichzelf terugverdienen.

Nadelen:

- ▶ Hoge investeringen.

Stimulansen: Subsidies op groene energie;

Energiebesparingsplicht grootverbruikers.

Uitdagingen: Hoge investeringen.

Realiseerbaarheid: AI beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de huidige markt al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.6.2 Voorkomen afval

Tijdens de vervaardiging van betonmortel of prefab elementen ontstaat vaak afval, zoals overgebleven beton uit de mixertruck of de productiehal, defecte producten en restwater dat wordt gebruikt om machines schoon te maken. Door preventieve maatregelen te nemen en hergebruik te bevorderen, kam niet alleen afval verminderd worden, maar ook grondstoffen conserveren en daarmee de uitstoot van CO₂ verminderen. Er zijn diverse stappen die genomen kunnen worden om afval tijdens het productieproces te minimaliseren: (persoonlijke communicatie, oktober 2023)

- ▶ Restbeton kan worden gerecycled door het te laten bezinken in water, bij voorkeur is het echter nog beter om verspilling te voorkomen;
- ▶ Defecte producten kunnen worden gerecycled in secundaire grondstoffen;
- ▶ Water kan hergebruikt worden, en indien mogelijk, kan regenwater worden ingezet;
- ▶ Bij prefab productie kan de toepassing van verpakkingen worden geminimaliseerd, met een nadruk op duurzame verpakkingsmaterialen;
- ▶ Het gebruik van secundaire grondstoffen van een milieustraat, zoals gerecyclede isolatiematerialen voor vloertoepassingen, kan worden aangemoedigd.

Voordelen:

- ▶ Reductie in afval (en CO₂-uitstoot).

Nadelen:

- ▶ Investerings in (recycling) installaties.

Stimulansen: Circulaire economie.

Uitdagingen: -

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling in de huidige markt al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.6.3 Duurzaam intern transport

Tijdens zowel het productieproces van betonmortel als prefab elementen is er sprake van intern transport, dat verschillende aspecten omvat, zoals het verplaatsen van grondstoffen van schip naar depot (met overslagkranen), het transport naar de menginstallatie, het gebruik van heftrucks, evenals het woon-werkverkeer van kantoorpersoneel. Deze interne transportsystemen bieden tevens kansen voor

verduurzaming, met name door middel van elektrificatie van het transportmiddelenpark, hiervoor zijn momenteel al genoeg mogelijkheden op de markt. (persoonlijke communicatie, oktober 2023)

Voordelen:

- ▶ Reductie in CO₂-uitstoot;
- ▶ Gemakkelijk te realiseren door kleine transportafstanden.

Nadelen:

- ▶ Investerings in duurzaam materieel.

Stimulansen: Subsidies vanuit de overheid.

Uitdagingen: Hoge investeringen.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

3.7 Productie beton (A3) – CO₂ als grondstof

3.7.1 Carbstone

De ontwikkeling van Carbstone, een alternatieve binder die CO₂ vastlegt tijdens de bindingsreactie, zonder de noodzaak van regulier cement, is een veelbelovende stap in de richting van duurzaam beton. De technologie maakt gebruik van carbonatatie, waarbij calciumoxide in reststromen wordt omgezet in calciumcarbonaat. Tijdens dit proces wordt CO₂ uit de lucht opgenomen, wat betekent dat deze binder CO₂ vastlegt in plaats van uitstoot. Zo draagt deze techniek bij aan CO₂-reductie op twee manieren: ten eerste, door de verminderde productie van Portlandklinkercement (dat veel CO₂-uitstoot veroorzaakt), en ten tweede, door de carbonatatiereactie die CO₂ uit de lucht opneemt tijdens de vorming en verharding van beton. (van Gent, 2021, p. 45)

Op dit moment worden staalslakken gebruikt als de calciumhoudende reststroom. Deze slakken worden gemalen, gezeefd en gereinigd om waardevolle metalen te verwijderen voordat ze worden gebruikt in de productie van Carbstone beton. Het carbonatatieproces neemt tot 300 kg CO₂ op per kubieke meter Carbstone beton. Momenteel wordt het geproduceerde beton voornamelijk ingezet in niet-structurele betontoepassingen zoals tegels en bouwstenen. Toelating in andere betontoepassingen vereist echter nog verdere beoordeling en certificering. Al met al belooft deze technologie een aanzienlijke bijdrage te leveren aan de vermindering van CO₂-uitstoot in de betonindustrie, terwijl het tegelijkertijd bijdraagt aan het hergebruik van reststromen. (van Gent, 2021, p. 45)

Daarnaast lijkt ASH-CARB lijkt een interessante variant te zijn op het Carbstone-concept, waarbij een deel van de staalslakken wordt vervangen door AEC-as. Het feit dat dit concept op universitaire onderzoeksschaal wordt onderzocht, toont aan dat er potentieel is voor verdere innovatie en duurzaamheid binnen de betonindustrie. Door gebruik te maken van AEC-as kunnen afvalstromen worden omgezet in waardevolle grondstoffen voor betonproductie, waardoor de milieu-impact van de betonindustrie verder kan worden

verminderd. Het is belangrijk om de resultaten van dit onderzoek af te wachten en te zien hoe ASH-CARB zich ontwikkelt als een duurzaam alternatief voor conventioneel beton. (van Gent, 2021, p. 45)

Voordelen:

- ▶ Secundair bindmiddel;
- ▶ CO₂-opname.

Nadelen:

- ▶ Geometrische beperkingen;
- ▶ Prismatisch;
- ▶ Alleen geschikt voor poreuze mengsels.

Stimulansen: Invoeren van een CO₂-tax en duurzaam inkopen.

Uitdagingen: Schone CO₂ benodigd;
Enorme investeringen nodig.

Realiseerbaarheid: 2025 / 100% beschikbaar in 2030.

In samenhang met: Alle bindmiddelen.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

3.7.2 Carbon cure

CarbonCure heeft een innovatieve technologie ontwikkeld waarmee reeds uitgestoten CO₂ wordt teruggewonnen en in beton wordt geïntegreerd. Tijdens het productieproces wordt koolstofdioxide in gasvorm geïnjecteerd vanuit een tank. Onderzoek heeft aangetoond dat het toevoegen van CO₂ aan beton de kwaliteit aanzienlijk verbetert. Dit resulteert in de noodzaak van minder cement om dezelfde sterkte te bereiken. (Wouters, 2019)

Door de toevoeging van CO₂ vindt er een extra chemische reactie plaats in het productieproces van beton. Deze reactie zet de CO₂ om in kalksteen, wat betekent dat bij het slopen van een betonconstructie aan het einde van zijn levensduur, de eerder geïnjecteerde CO₂ niet opnieuw vrijkomt. Op deze manier wordt CO₂ omgezet in een waardevolle grondstof die niet meer wordt uitgestoten. (Wouters, 2019)

Met deze methode wordt CO₂ gereduceerd door reeds uitgestoten CO₂ te gebruiken als grondstof en door de verminderde behoefte aan cement als gevolg van het toevoegen van CO₂.

Bij het injecteren van 593 gram CO₂ in één kubieke meter beton wordt er twintig keer zoveel CO₂ bespaard doordat er minder cement nodig is. Dit komt neer op een extra besparing van 11.866 gram CO₂. Echter brengt het vernieuwde proces ook extra werkzaamheden met zich mee, zoals het opvangen en transporteren van de CO₂ naar de verwerkingslocatie. Dit resulteert in een verlies van 119 gram CO₂ per geproduceerde kubieke meter beton. Al met al leidt dit tot een netto CO₂-reductie van 12.341 gram per kubieke meter beton. (Wouters, 2019)

Gebaseerd op de gemiddelde samenstelling van betonmortel zoals vermeld in de ketenanalyse (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, p. 26) kan worden geconcludeerd dat hiermee 9% cement kan worden

bespaard. In combinatie met de eerder genoemde factoren resulteert dit in een reductie van 4,7% in de CO₂-uitstoot gedurende het gehele productieproces per kubieke meter beton. (Wouters, 2019)

Ondanks dat deze technologie veel toekomstperspectief lijkt te hebben in de betonmortel, wordt deze in Nederland niet toegepast (wereldwijd wel). Dit komt omdat een goede onderbouwing ontbreekt en sommige onderdelen chemisch / technologisch heel onwaarschijnlijk zijn. Meer hierover in de onderstaande samenvatting.

Verschillen tussen Carbstone (3.7.1) en Carbon Cure:

- ▶ Bij Carbstone gaat het om een prefab product, bij Carbon Cure om een betonmengel;
- ▶ Bij Carbstone wordt het secundaire bindmiddel "staalslakken" toegepast, bij Carbon Cure is dit vooral in combinatie met veel Portlandcement (voor NL dus niet interessant...).

Voordelen:

- ▶ Binding van CO₂;
- ▶ Extra betondruksterkte.

Nadelen:

- ▶ Hoge investeringen (en kosten);
- ▶ Investerings nodig om veiligheid te waarborgen;
- ▶ In Nederland wordt weinig gebruik gemaakt van Portlandcement;
- ▶ Onzekerheden, zoals: (persoonlijke communicatie, 2 november 2023)
 - Wordt de CO₂ echt opgenomen in de vloeibare betonspecie, en hoeveel?;
 - De opgenomen CO₂ kan met kalk reageren die vrijkomt bij de cement-reactie, dit heeft weken nodig en al die tijd moet de CO₂ in het beton blijven;
 - Tegelijkertijd wordt het water in beton gebonden en neemt de diffusie van CO₂ sterk af, dus de reactie vertraagt enorm. CO₂ is een zuur en kan de **cement reactie vertragen**;
 - Kalk in beton beschermt de wapening tegen corrosie, als de kalk weg is, is de wapening kwetsbaar = **risico op carbonatie**.

Stimulansen: Subsidies vanuit de overheid / investeerders;
 CO₂ binden en besparen.

Uitdagingen: Hoge investeringen;
 Technische risico's;
 Regelgeving.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar internationaal / onbekendheid voor NL.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar hoogstwaarschijnlijk niet 100% beschikbaar en interessant is voor Nederland als hoogovenland, en er nog te veel onbekendheid over is, zal deze ontwikkeling niet worden meegenomen in dit onderzoek.

4. Maatregelen ontwerp-/bouwfase

4.1 Transport naar de bouwplaats (A4)

Uit de ketenanalyse van beton blijkt dat het transport van de producent (beton-centrale of prefab fabrikant) naar de bouwplaats goed is voor een aandeel van 5 tot 11% in de totale levenscyclus van één m³ beton. Hierbij is een gemiddelde afstand aangehouden van 25 km voor betonmortel en 75 km voor een betonproduct. (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, pp. 28, 34)

De maatregelen ter verduurzaming van de transport uit fase A2 (H3.4) gelden ook voor fase A4, echter zijn er wel een paar verschillen tussen deze fases:

- ▶ Gemiddelde transportafstand is veel minder;
- ▶ Transportmiddel, in fase A4 alles per vrachtwagen (truckmixer).

Deze verschillen bieden ook kansen in deze specifieke transportfase. Zo wordt elektrisch transport veel interessanter in deze fase van de betonketen in relatie tot de actieradius. In bijlage 1 zijn hier een aantal voorbeelden van benoemd.

4.2 Ontwerp van betonelementen (A3/A5)

4.2.1 Ontwerpen voor toekomstig hergebruik / langere levensduur

Het ontwerpen van elementen voor demontage en hergebruik levert weinig tot geen CO₂-reductie op tussen nu in 2050. Bij het overwegen van toekomstig hergebruik van componenten in nieuwe bouwwerken moet rekening worden gehouden met mogelijke toekomstige toepassingen. In de meeste gevallen betekent dit dat componenten worden overgedimensioneerd, omdat de gebruikseisen op het moment van ontwerp nog niet zijn vastgesteld. Dit geldt vooral voor constructies waarbij vermoeiing door dynamische belasting een rol speelt, omdat deze moeilijk te ontwerpen zijn voor hergebruik. (van Gent, 2021, p. 26)

De elementen die nu worden ontworpen, worden pas na minimaal 30 jaar beschikbaar voor hergebruik, wat betekent dat de milieuvordelen pas op de lange termijn merkbaar zijn. Veel bouwwerken worden al herbestemd, wat betekent dat ze niet meer op elementniveau beschikbaar zijn voor hergebruik. En zelfs als deze elementen beschikbaar komen, is het onzeker of ze in de buurt van het oorspronkelijke bouwwerk kunnen worden hergebruikt. Het is belangrijk om te voorkomen dat de te gebruiken elementen over grote afstanden moeten worden getransporteerd. Als alternatief kunnen gebruikte elementen worden gebroken en gerecycled als grondstoffen. (van Gent, 2021, p. 26)

Voordelen:

- ▶ Minder nieuwe betonnen elementen nodig (= materiaalbesparing → CO₂-reductie).

Nadelen:

- ▶ Te duur;
- ▶ Hoge MKI als gevolg van overdimensionering.

Stimulansen: Een gunstige beoordeling van herbruikbaarheid in een levenscyclusanalyse (LCA)

	helpt de milieuprestatie (MPG) te verbeteren of te verlagen.
Uitdagingen:	Het is moeilijk om anticiperend te ontwerpen vanwege de onzekerheid over toekomstige hergebruiksmogelijkheden.
Realiseerbaarheid:	Al beschikbaar / 100% in 2030 (theoretisch onmiddellijk, praktisch pas ver in de toekomst).
In samenhang met:	Hergebruik beton elementen / hergebruik & renoveren (transitie).

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, maar nog niet in de komende 10 jaar CO₂-reductie gaat opleveren, wordt dit niet meegenomen in de markt voor de komende 10 jaar. Wel is het belangrijk om deze maatregel nu mee te nemen om hier over 30 jaar CO₂-reductie uit te kunnen halen.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

4.2.2 Ontwerp optimalisatie

In het verleden leidde de situatie waarin materiaal goedkoper was dan arbeid tot optimalisatiestappen waarbij arbeidsuren en handmatige handelingen werden vermeden, zelfs als dit resulteerde in een overmatig gebruik van materiaal, zoals beton en wapeningsstaal in betonconstructies. Hier ligt onbenut potentieel voor CO₂-besparing door het verminderen van het gebruik van beton en wapeningsstaal.

In een toekomstige situatie waarin we veel bewuster omgaan met materialen, geavanceerde rekenmethoden en kunstmatige intelligentie in opkomst zijn, en de bouwplaats of fabrieksproductie steeds meer wordt gerobotiseerd, kunnen we aanzienlijke voordelen behalen. Deze ontwikkelingen zullen leiden tot het veel optimaler en specifiekere ontwerpen en realiseren van constructieonderdelen. Elk onderdeel, zoals een poer, balk, kolom, wand of vloer, krijgt dan alleen de afmetingen en hoeveelheid wapening die werkelijk nodig zijn. (van Gent, 2021, p. 39)

Belangrijk is dat er geen belemmeringen zijn voor de toepassing van dit perspectief. Uiteindelijk kunnen we direct winst behalen door meer optimalisatie in het ontwerp. De initiatie hiervoor ligt bij de opdrachtgever. Wanneer de functionaliteit goed is gedefinieerd, kunnen verschillende ontwerpscenario's tegen elkaar worden afgewogen, met als doel het minimaliseren van de CO₂-impact. Andere aspecten, zoals circulariteit, moeten duidelijk worden geïntegreerd in de definitie van functionaliteit. (van Gent, 2021, p. 39)

Voordelen:

- ▶ Materiaalbesparing (= CO₂-reductie).

Nadelen:

- ▶ In het begin is dit aanpak arbeidsintensief, wat betekent dat het ontwerpen, construeren en uitvoeren van deze methoden meer arbeid vereist, en dit kan leiden tot hogere kosten.

Stimulansen: Aangescherpte eisen m.b.t. materiaalgebruik en CO₂ (bijv. MPG);
 Beloning voor extra inspanning om lagere CO₂ te behalen (planning / uitvoering);
 Aangescherpte criteria welke minimum functionaliteit specificeren;
 Ketensamenwerking (constructeur, betontechnologie, uitvoerder).

Uitdagingen: De ROK sluit de 3D FEM als ontwerptool uit;

Conservatisme bij constructeurs en aannemers;
 Motivatie om materialen te besparen in momenteel nog beperkt.
 Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030 (grotere impact naar mate computer-modellen en robotisering ter beschikking zijn).

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

4.2.3 Gebruik maken van oversterkte

Een deel van het beton of de mortel wordt besteld met een combinatie van sterkte- en milieuklassen waarbij, door de keuze van een zwaardere milieuklasse, een hogere sterkte wordt bereikt dan oorspronkelijk in het ontwerp was gepland. Deze extra sterkte kan worden benut om de constructies slanker te ontwerpen. (van Gent, 2021, p. 43)

Een globale inschatting van CO₂-besparing (van Gent, 2021, p. 43): per jaar wordt er gemiddeld 8.000.000 m³ betonmortel gebruikt. Omdat deze maatregel alleen relevant is bij de sterkteklassen tot C30/37 en een deel van C30/37 gaan we uit van 50% van de totale productie, 4.000.000 m³. Circa 10% van deze toepassing wordt "te zwaar" ontworpen, dit komt neer om 400.000 m³ betonmortel. In deze 10% zou 25% minder cement gebruikt kunnen worden, wat neer komt om 100.000 m³ betonmortel. Het gemiddelde CEM I gehalte in ready mix/kg CO₂ per kg cement/CO₂ per m³ beton is 60 x 0,818 = 49. Het gemiddelde CEM III gehalte in ready mix/kg CO₂ per kg cement/CO₂ per m³ beton is 200 x 0,296 = 59. Het totale gemiddelde cement gehalte in ready mix/kg CO₂ per kg cement/CO₂ per m³ beton is 260 x 0,416 = 108. Hiermee kan per jaar dus een kleine 11.000 ton CO₂ bespaard worden.

Voordelen:

- ▶ Minder kosten door optimalisatie betonmengsels.

Nadelen:

- ▶ Meer arbeid voor constructeur / ontwerper.

Stimulansen: Opleiding / informatie ontwerpers.
 Uitdagingen: -
 Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.
 In samenhang met: Ontwerp.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

4.2.4 Keuze prefabricage / in het werk storten

Bij elk betonelement in het werk moet de volgende vraag gesteld worden: "Kan dit onderdeel ook geprefabriceerd worden?" Zo ja: is dit voordelig m.b.t. de CO₂-reductie? Prefabricage kent namelijk vele voordelen op de bouwplaats, zoals een kortere bouwtijd, onafhankelijkheid van beschikbaarheid personeel,

weersonafhankelijk, minder transport naar en op de bouwplaats, minder afval, minder werkvoorbereidings- en constructeurskosten en hoogwaardige kwaliteit. Prefabricage kan CO₂-reductie opleveren als het ontwerp geoptimaliseerd kan worden (materiaalbesparing) en er geen CO₂-intensief cement wordt toegepast. Daarom moet er bij de keuze voor prefabricage worden overwogen of er ontwerpoptimalisatie mogelijk is en of er geen CO₂-intensief cement kan worden toegepast (zoals CEM III).

Voordelen:

- ▶ Vele voordelen op de bouwplaats;
- ▶ Materiaalbesparing (→ CO₂-reductie).

Nadelen:

- ▶ Nieuwe werkmethode.

Stimulansen:	Opleiding / informatie werkvoorbereiders.
Uitdagingen:	Conservatisme bij constructeurs en aannemers.
Realiseerbaarheid:	Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.
In samenhang met:	Ontwerp optimalisatie.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

4.2.5 3D printen (topologisch ontwerpen)

3D-printen is een innovatieve technologie die zich nog in de beginfase van implementatie bevindt, waarbij de eerste praktische toepassingen op een experimentele manier worden verkend. Met de methode van topologisch ontwerpen wordt materiaal alleen gebruikt waar het nodig is. Dankzij de buitengewone vormvrijheid is het mogelijk om meer dan 50% van het materiaalvolume te besparen, afhankelijk van de geometrie van het te printen object. Bovendien is bij 3D-printen geen bekisting nodig. (van Gent, 2021, p. 40)

De CO₂-uitstoot per eenheid product wordt naar verwachting hoger bij het gebruik van betonspecie in vergelijking met een gemiddelde betonmortel in traditionele verwerkingsmethoden. Aangezien het nog niet helemaal duidelijk is in welke toepassingsgebieden 3D printen de meeste kansen zou bieden en in hoeverre deze technologie bestaande technologieën kan vervangen, kan het CO₂-reductiepotentieel door de toepassing van 3D-printen op projectniveau wel degelijk worden bepaald aan de hand van levenscyclusanalyse (LCA) berekeningen. (van Gent, 2021, p. 40)

Voordelen:

- ▶ Geen overbodig materiaal gebruik;
- ▶ Geen bekisting benodigd;
- ▶ Zeer grote vormvrijheid.

Nadelen:

- ▶ Op dit moment kan 3D-printen economisch nog niet concurreren met de bestaande massa-Productietechnologieën;
- ▶ Weinig demontabel, niet flexibel;

- ▶ Veel bindmiddel benodigd (CEM I of geopolymeer).

Stimulansen:	Integratie digitalisering in ontwerp en productie.
Uitdagingen:	Beschikbaarheid robots en technologische kennis.
Realiseerbaarheid:	AI beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030? (TRL 9).
In samenhang met:	Ontwerp optimalisatie.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

4.3 Bouwproces / aanleg (A5)

4.3.1 Slimmere bouwplanning

In de bouw wordt gedurende het hele jaar beton gestort, maar in de wintermaanden, van november tot maart, zijn extra maatregelen vereist om kwalitatief goed beton te verkrijgen. Een van deze maatregelen is het toevoegen van 25% CEM I aan bijvoorbeeld CEM III om de verhardingstijd te versnellen en een hogere aanvangsterkte te bereiken. Dit leidt echter tot aanzienlijk meer CO₂-uitstoot en kan resulteren in een verandering in eindsterkte, met mogelijk scheurvorming als gevolg door overmatige sterkte. (van Gent, 2021, p. 30)

Het is essentieel om de omgevingstemperatuur rond de betonconstructie te verhogen bij koud weer, wat gepaard gaat met een verhoogd energieverbruik. Bij zeer lage temperaturen is verlengde nabehandeling nodig totdat een sterkteniveau is bereikt van minimaal 50% van de voorgeschreven sterkteklasse. Dit heeft invloed op de hoeveelheid benodigd nabehandelmiddel. Helaas wordt nabehandeling niet altijd zorgvuldig uitgevoerd, wat het risico met zich meebrengt dat de levensduur van constructies aanzienlijk wordt verkort. (van Gent, 2021, p. 30)

Een snelle conclusie zou kunnen zijn dat het vermijden van betonstortingen in de wintermaanden een manier is om extra emissies te voorkomen. Toch is het belangrijk om niet zomaar de bouw gedurende maanden stil te leggen, omdat elke extra bouwdag bijdraagt aan toegenomen verkeerscongestie (waarbij in gedachten moet worden gehouden dat de CO₂-uitstoot van de bouw van bijvoorbeeld één viaduct gelijkstaat aan 10 minuten spits rijden in Nederland). De meest geschikte aanpak zou kunnen zijn om prefab werkzaamheden in de koude maanden wel te laten doorgaan, terwijl in-situ betonstortingen alleen plaatsvinden van maart tot en met oktober. (van Gent, 2021, p. 30)

De extra toevoeging van CEM (is toepasbaar om 50% van de betonmortel gedurende de wintermaanden. Van 1 november tot 1 maart = 4 maanden en 1/3 jaar) (van Gent, 2021, p. 30):

- ▶ 50% van 15 miljoen m³ betonmortel = 7,5 miljoen m³ betonmortel;
- ▶ 7,5 miljoen m³ x 1/3 = 2,5 miljoen m³ betonmortel;
- ▶ 750 000 ton cement CEM I zonder CEM I = 0,2 x 750 000 = 150 000 ton cement;
- ▶ 150 000 x 0,9 = 135 000 CO₂-reductie.

Dit reductiepotentieel wordt verminderd door de toepassing van alternatief CSH en demontabel bouwen.

Om het werk in de wintermaanden voort te zetten, zijn er verschillende mogelijke maatregelen beschikbaar. Enkele van deze maatregelen omvatten: (van Gent, 2021, p. 30)

1. Gebruik van versnellers: Het inzetten van versnellers in het betonmengsel kan de verhardingstijd verkorten en de aanvangsterkte versnellen, wat essentieel is bij koud weer;
2. Meer bekistingsmateriaal: Het gebruik van extra bekistingsmaterieel kan helpen om het beton langer in de bekisting te houden, waardoor het beton de benodigde tijd heeft om goed uit te harden, zelfs bij lagere temperaturen;
3. Toepassing van monitoring door sensing: Het gebruik van sensoren en monitoringtechnologie kan helpen om de aanvangsterkte van het beton nauwkeurig te bepalen. Dit geeft bouwers de mogelijkheid om de juiste momenten voor verdere werkzaamheden te identificeren zonder het risico van vroegtijdige belasting.

Voordelen:

- ▶ Geen 25% extra toevoeging van CEM I, een directe besparing.

Nadelen:

- ▶ Geen in het werk gestort beton meer van november tot maart, of het gebruik van versnellers i.p.v. 25% CEM I;
- ▶ Extra bekistingsmateriaal.

Stimulansen:	Sturing op plafond MKI-waardes die de toevoeging van CEM I voorkomt
Uitdagingen:	Transparantie in gegevens; MKI waarde moet duidelijk en inzichtelijk zijn.
Realiseerbaarheid:	Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030. → Staat en valt met controle op het mengsel.
In samenhang met:	Versnellers.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

4.3.2 Hogere eindsterkte

Met het begrip "Slow beton" wordt bedoeld dat men gebruik maakt van de langzamere sterkteontwikkeling van beton. Hoewel Slow beton enigszins overlapt met de maatregel "bouwplanning", richt bouwplanning zich voornamelijk op de sterkteontwikkeling vóórdat de uiteindelijke sterkte is bereikt, terwijl Slow beton de nadruk legt op de sterkte die wordt bereikt na een bepaalde tijdsperiode, zoals 56 of 90 dagen, in tegenstelling tot het traditionele perspectief waarbij de focus ligt op de sterkte die wordt bereikt na 28 dagen. (van Gent, 2021, p. 42)

Slow beton wordt toegepast in situaties waarbij de kritieke belastingen op een constructie of een deel daarvan pas na 28 dagen van belang zijn. Dit is met name relevant wanneer de sterkteklasse van het beton bepalend is voor de water-cementverhouding en niet de milieuklasse. Het wordt geschat dat slechts ongeveer 10% van de toepassingen geschikt is voor slow beton. De kostenbesparing komt voort uit het feit dat het cementgehalte met 10% kan worden verminderd in vergelijking met beton dat de uiteindelijke sterkte na 28 dagen bereikt. Deze maatregel kan ook worden toegepast in de prefabricage wanneer er

voldoende opslagcapaciteit is in de productiehal om uit te harden. Deze methode is vooral effectief met puzzolanen, zoals vlieg-as of slak. (van Gent, 2021, p. 42)

Voordelen:

- ▶ Minder warmteontwikkeling;
- ▶ Minder cement benodigd = CO₂-reductie.

Nadelen:

- ▶ Tragere sterkteontwikkeling;
- ▶ Langere nabehandeling;
- ▶ Minder data met latere sterktes op betoncentrales;
- ▶ Niet mogelijk bij lage sterkte in combinatie met hoge milieuklasse.

Stimulansen: CO₂-tax.
 Uitdagingen: Extra berekeningen en testen.
 Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.
 → Wanneer constructies op een later tijdstip worden belast.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

4.3.3 Duurzaam aanbrengen van beton

Tijdens het aanbrengen van beton, zowel bij betonmortel als bij prefab elementen, komen emissies vrij door het gebruik van machines die op brandstof werken. Bij het storten van betonmortel wordt in 30% van de gevallen gebruikgemaakt van een kraan met kubel (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, p. 29) en in 70% van de gevallen van een betonpomp. Bij het aanbrengen van betonmortel zijn er ook gereedschappen benodigd, zoals een trilnaald, een afwerkspaan of een vlindermachine. In het geval van prefab elementen is vaak alleen een mobiele kraan nodig om het element op zijn plaats te zetten.

Allereerst moet overwogen worden of er een betonpomp of een kraan met kubel wordt ingezet. Een betonpomp heeft meer uitstoot dan een kraan met kubel, maar met een betonpomp is er meer stortsnelheid waardoor er tijd en dus emissies kunnen worden bespaard. Daarnaast kunnen emissies worden gereduceerd door het toepassen van elektrische betonpompen en kranen, waarvan de eerste al op de markt zijn. Daarnaast is het gereedschap vaak al in diverse elektrische uitvoeringen verkrijgbaar. Hiervoor is het wel van belang dat er gebruik wordt gemaakt van groene stroom. In buiten stedelijk gebied zou het opwekken van eigen groene stroom op de bouwplaats door middel van groene stroom een goede optie zijn.

Voordelen:

- ▶ Minder emissies in de aanlegfase.

Nadelen:

- ▶ Groene stroom benodigd;
- ▶ Voornamelijk relevant voor het storten van betonmortel.

Stimulansen: CO₂-tax.
 Uitdagingen: Beschikbaarheid elektrisch materieel.
 Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

4.3.4 Goede afstemming

In de uitvoeringsfase is een goede afstemming met de betoncentrale belangrijk. De betontechnoloog kan adviseren voor de mengsamenstelling in specifieke omstandigheden. Daarnaast is het van belang om de juiste hoeveelheden door te geven om restvrachten te voorkomen, en de transporttijden te optimaliseren om wachttijd te voorkomen. Door het gesprek aan te gaan kan het aanbrengen zo efficiënt mogelijk verlopen en onnodige emissies worden voorkomen. Wanneer het betonwerk wordt uitbesteed moet dit meegegeven worden aan de onderaannemer, een stortplan en/of formulier kan hierbij helpen (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 25-27).

Voordelen:

- ▶ Minder emissies in de aanlegfase;
- ▶ Efficiënt proces.

Nadelen: n.v.t.

Stimulansen: CO₂-tax.
 Uitdagingen: -
 Realiseerbaarheid: Al 100% beschikbaar.

Aangezien deze ontwikkeling al 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

4.3.5 Gebruik maken van warmteontwikkeling

Cement, het bindmiddel van beton ontwikkeld warmte tijdens de verharding en krimpt als gevolg van sterke afkoeling. Tijdens het voorjaar kan het overdag prachtig weer zijn met temperaturen die kunnen oplopen tot 20 graden of hoger. Betonspecie heeft ook deze temperatuur en wordt na het storten nog warmer vanwege de reactie tussen cement en water. Het is normaal dat de pas gestorte vloer 's nachts een eigen temperatuur heeft van ongeveer 30 graden. Verhardend beton kan hiermee omgaan, maar de uitdaging ligt in de ochtend die daarop volgt. Het kan voorkomen dat in de vroege ochtend de temperaturen dalen tot onder het vriespunt, en dit kan leiden tot scheurvorming in het pas gestorte beton. Dit komt doordat de

wapening op dat moment nog niet actief is. Om dit te voorkomen, is het van groot belang om de enorme afkoeling te vermijden door het beton af te dekken met isolatiedekens.

In de prefabricage is het gebruik van isolatie om de vrijgekomen warmte te hergebruiken (bijv. door middel van klimaatkamers) of het verwarmen van de grondstoffen of banen waar beton gestort wordt al heel gebruikelijk. Door de vrijkomende warmte te hergebruiken kan naast het voorkomen van krimp het uithardingsproces, de sterkteontwikkeling worden versneld. Ondanks dat het verwarmen energie kost brengt het meer op, doordat de warmte hergebruikt wordt. (persoonlijke communicatie, september 2023)

Voordelen:

- ▶ Voorkomen van krimp;
- ▶ Snellere sterkteontwikkeling.

Nadelen: n.v.t.

Stimulansen: Versnelde bouwtijd.

Uitdagingen: Planning bouwproces.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

In samenhang met: Slimmere bouwplanning / versnellers.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: [REDACTED]

4.3.6 Afval scheiden

Tijdens de bouwfase komt er ook (afval) beton vrij, denk aan bijvoorbeeld restbeton, onverwachts tegenkomende fundaties in de grond, producten die kapot zijn of over zijn. Door dit op de bouwplaats al goed te scheiden in een puincontainer, vrij van andere materialen kan het beton bij een gecertificeerde afvalverwerker goed verwerkt worden. In tegenstelling tot de prefabricage, waarbij het beton direct hergebruikt kan worden, kan de bouwfase zo wel een steentje bijdragen.

Voordelen:

- ▶ Reductie in afval (en CO₂-uitstoot)

Nadelen: n.v.t.

Stimulansen: Circulaire economie.

Uitdagingen: -

Realiseerbaarheid: Al 100% beschikbaar.

Aangezien deze ontwikkeling al 100% beschikbaar is, zal deze worden meegenomen in dit onderzoek.

5. Maatregelen gebruiksfase

5.1 Gebruiksfase (B)

5.1.1 Levensduur verlenging

Uitgehard beton vertoont vaak neiging tot scheuren, wat waterinfiltratie mogelijk maakt en uiteindelijk het wapeningsstaal kan aantasten. Dit leidt tot de noodzaak van regelmatige betonreparaties, waarbij cement houdende mortels worden ingezet. Door bepaalde technieken toe te passen, kan de behoefte aan reparaties worden verminderd of zelfs voorkomen. Dit heeft als bijkomend voordeel dat het de CO₂-uitstoot vermindert: (van Gent, 2021, p. 31)

- ▶ Betere materiaalkeuze, kwaliteitsborging en proces begeleiding;
- ▶ Vakbekwaamheid personeel;
- ▶ Inkopen op basis van beheer- en onderhoudskosten.

Hiervoor zijn verschillende technologieën beschikbaar:

- ▶ Keuze voor hoogwaardige betonreparatie mortels;
- ▶ Monitoring van reparatie middels sensing;
- ▶ Toepassing self healing technologie (zie 3.5.2);
- ▶ Bescherming wapeningsstaal om corrosie te voorkomen.

De CO₂-besparing valt te halen in: vermeden uitstoot door niet bouwen, minder verbruik van reparatie mortel, minder benodigde dekking van het wapeningsstaal en vermeden transporten t.b.v. reparaties.

Voordelen:

- ▶ Vermijden behoefte van nieuwbouw.

Nadelen:

- ▶ Hogere kosten in het begin van de levensduur, maar uiteinde lagere kosten aan het einde van de Levensduur.

Stimulansen:	Verlaging MPG; Wet kwaliteitsborging; Verantwoording voor beheerskosten (ligt aan soort contract).
Uitdagingen:	Belang van lagere onderhoudskosten ligt vaak niet bij de bouwer / onderhoudspleger.
Realiseerbaarheid:	Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.
In samenhang met:	Zelf helend beton.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

5.1.2 Reductie in energiegebruik (BKA)

Bij betonkernactivering (BKA) wordt de warmtecapaciteit van betonnen constructies benut om een gebouw op een gewenste temperatuur te brengen en te handhaven. Beton heeft een aanzienlijke warmtecapaciteit, en daarom wordt BKA beschouwt als een situatie waarin het ontwerp van een gebouw is geoptimaliseerd om deze warmtecapaciteit te benutten voor temperatuurregeling. In dit geval gebruikt beton stralingswarmte om de temperatuur in de ruimtes van het gebouw te regelen. Als het beton warmer is dan de ruimtes, geeft het warmte af via straling, en wanneer het beton koeler is dan de omgeving, neemt het warmte op en koelt het de ruimtes. (van Gent, 2021, p. 37)

Vanwege het grote oppervlak waarover temperatuuruitwisseling plaatsvindt, is BKA geschikt voor gebruik in combinatie met systemen voor zeer lage temperatuurverwarming en relatief milde koeling. Hierdoor is het bijzonder geschikt voor integratie met warmtepompen. (van Gent, 2021, p. 37)

Vanaf 2020 moet alle nieuwbouw bijna energieneutraal moet zijn volgens de BENG-norm. Dit betekent dat vanaf 2020 geen energiebesparing meer kan worden geclaimd door middel van BKA, omdat alle gebouwen dan al een zeer laag energieverbruik moeten hebben en verdere besparingen dan de norm voorgeschreven door de regelgeving niet langer mogelijk zijn. (van Gent, 2021, p. 37)

Voordelen:

- ▶ Een schoon, geluidloos en aangenaam binnenklimaat;
- ▶ Maakt gebruik van een krachtige natuurlijke eigenschap van beton: de capaciteit om warmte op te slaan en te gebruiken voor koeling.

Nadelen:

- ▶ Langzame temperatuurveranderingen.

Stimulansen: De groeiende eisen met betrekking tot energieneutraliteit in de bouwsector gaan hand in hand met de toenemende focus op de kwaliteit van het binnenklimaat.

Uitdagingen: Belang van reductie in energieverbruik ligt vaak niet bij de bouwer; Benodigd integraal ontwerp, energie i.r.t. klimaat.

Realiseerbaarheid: 100% beschikbaar.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

6. Maatregelen sloofase

6.1 Sloop (C1)

In de huidige "lineaire" bouwketen worden grondstoffen gewonnen, omgevormd tot bouwmaterialen en producten, gebruikt en aan het eind van de levensloop gesloopt en als afval beschouwd. Een model van "take-make-waste". In dit model betekent het slopen van gebouwen of constructies aan het einde van de keten vooral een verlies van grondstoffen. Dit wordt traditioneel slopen genoemd, waarbij het verwijderen van het bouwwerk tegen zo laag mogelijke kosten binnen een strakke planning moet gebeuren. In de betonketen wordt vaak al het beton gebroken en toegepast als betongranulaat voor de fundatie van wegen.

6.1.1 Selectief (circulair) slopen

Een doordachte analyse van het gebouw of constructie is de eerste stap in het proces van selectieve, circulaire sloop. Hierbij wordt gekeken naar de mogelijkheden voor hergebruik van materialen en onderdelen. Vervolgens wordt het gebouw of de constructie zorgvuldig gedemonteerd om de losse onderdelen en materialen te kunnen scheiden. Het gebouw wordt vervolgens gestript door monteurs en uiteindelijk wordt het kale casco met behulp van een kraan naar beneden gehaald.

Het belangrijkste verschil met de traditionele manier van slopen is dat bij deze laatste fase vaak ook overgebleven binnenmuurtjes en andere resterende onderdelen worden meegenomen, wat kan leiden tot vervuiling van de materiaalstromen. Hierdoor is het hoogwaardig gebruik van grondstoffen voor nieuwe producten, zoals nieuw beton of bakstenen, vrijwel onmogelijk.

Bij selectief, circulair slopen is het van cruciaal belang dat de zorgvuldig teruggewonnen materialen en grondstoffen daadwerkelijk worden hergebruikt in bouwprojecten, zodat de negatieve impact van lineair materiaalgebruik wordt voorkomen, dit is in samenhang met de maatregel: "hergebruik beton elementen". Op deze manier kan er een duurzamere en meer circulaire economie gecreëerd worden, waarbij de hoeveelheid afval verminderd wordt.

Voordelen:

- ▶ Hergebruik mogelijk van elementen, beton blijft in de keten (circulair);
- ▶ Door het scheiden van grondstoffen komt er een grotere hoeveelheid specifieke grondstof vrij, zoals beton.

Nadelen:

- ▶ Duurder dan traditioneel slopen.

Stimulansen:	Voorschrijven in bestekken.
Uitdagingen:	Nog weinig ervaren sloopbedrijven met circulair slopen; Hogere kosten.
Realiseerbaarheid:	Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.
In samenhang met:	Hergebruik beton elementen.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Gubbels (Gubbels, 2022) (zie bijlage 1)

6.1.2 Duurzaam slopen

Bij het slopen van een gebouw of constructie wordt vaak zwaar materieel ingezet, dat door middel van hydraulische knijpers de constructie in kleinere stukken knipt. Door het gebruiken van duurzame brandstoffen zoals HVO 100 of LNG (zie H3.4), of door het inzetten van elektrisch materieel kunnen emissies worden voorkomen.

Voordelen:

- ▶ Minimalisatie van de CO₂-uitstoot in de sloopfase.

Nadelen:

- ▶ Meer kosten voor brandstof / materieel.

Stimulansen: CO₂-tax.

Uitdagingen: Minder tankmogelijkheden (HVO 100/LNG);
 Niet voldoende accucapaciteit voor een gehele werkdag.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Urban mine (Link magazine, 2019) (zie bijlage 1).

6.2 Transport naar de afvalverwerking (C2)

Uit de ketenanalyse van beton blijkt dat het transport van de bouwplaats naar de verwerker goed is voor een aandeel van 2 tot 3% in de totale levenscyclus van één m³ beton. Hierbij is een gemiddelde transportafstand aangehouden van 15 km per as. (Aanen, Ketenanalyse Beton, 2023, p. 28)

De maatregelen ter verduurzaming van de transport uit fase A2 (H3.4) en fase A4 gelden ook voor fase C2, echter zijn er wel een paar verschillen tussen deze fases:

- ▶ Gemiddelde transportafstand is veel minder
- ▶ Transportmiddel, alles per as

Deze verschillen bieden ook kansen in deze specifieke transportfase, net zoals voor fase A4. Zo wordt elektrisch transport veel interessanter in deze fase van de betonketen in relatie tot de actieradius. In bijlage 1 zijn hier een aantal voorbeelden van benoemd.

6.3 Afvalverwerking (C3)

6.3.1 Duurzaam breken

Bij de afvalverwerker wordt het grove puin door een mobiele rupskraan in de puinbreker gebracht en gebroken totdat het door de zeef kan, welke op verschillende fracties kan worden ingesteld. Als het puin gezeefd is in de juiste fractie zorgt een shovel voor de afvoer van het puin en kan het worden toegepast als wegfundatie of in nieuw beton. In hoofdstuk 7.1 is deze traditionele manier van de verwerking van beton verder toegelicht, in hoofdstuk 7.1.1 is er een nieuw recyclingtechniek (innovatie) toegelicht waardoor nog meer grondstoffen kunnen worden teruggewonnen.

Ook in deze fase kan er verduurzaamd worden, bijvoorbeeld door het elektrificeren van de breker (in de toekomst mogelijk waterstof) en het machinepark. Wanneer dit niet mogelijk is kunnen er duurzame brandstoffen, zoals HVO 100 en LNG gebruikt worden.

Om zuiver betongranulaat uit de breekinstallatie te krijgen is het van belang dat het puin kwalitatief goed en schoon aangeleverd wordt.

Voordelen:

- ▶ Minimalisatie van de CO₂-uitstoot in de afvalverwerkingsfase.

Nadelen:

- ▶ Meer kosten voor brandstof / materieel.

Stimulansen: CO₂-tax.

Uitdagingen: Minder tankmogelijkheden (HVO 100/LNG);
Niet voldoende accucapaciteit voor een gehele werkdag.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

7. Maatregelen hergebruikfase

7.1 Herwinning van grondstoffen (D)

Tijdens de gebruikelijke verwerking van betonpuin voor gebruik in nieuw beton wordt meestal een verdeling verkregen van ongeveer 60% grof materiaal (groter dan 4 mm) en 40% fijn materiaal (kleiner dan 4 mm). De grove fractie is goed geschikt voor gebruik in nieuw beton. In de Europese betonnorm is een vervanging van 30% mogelijk, en in Nederland zijn er CUR-aanbevelingen die zelfs hogere vervangingspercentages mogelijk maken, variërend van 50% tot 100%. In het geval van een vervanging van 100% is echter een constructieve herberekening vereist als de toepassing constructief van aard is.

De toepassing van de fijne fractie (< 4 mm) is in principe mogelijk in nieuw beton, maar in de praktijk kan dit leiden tot problemen bij de verwerking, zoals verstopping van silo's. Hierdoor is het gebruik in beton beperkt en wordt vaak gekozen voor andere afzetmogelijkheden. Fijngranulaat kan echter wel worden gebruikt in mengsels met primair materiaal, bijvoorbeeld als vervanger voor zand. (Dekker, 2021)

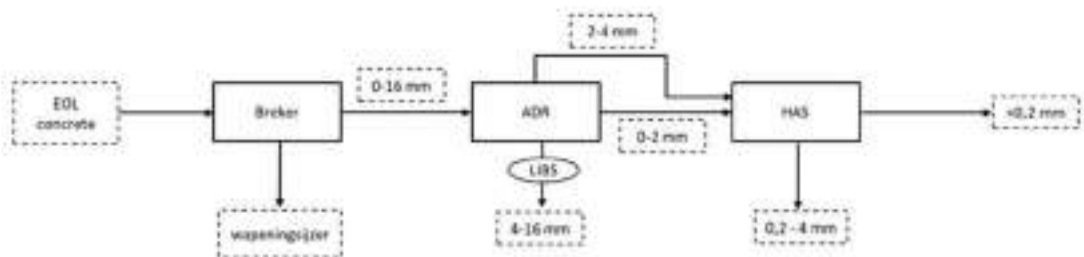
7.1.1 Cementsteen recycling

Tijdens de productie van portlandcementklinker wordt CaCO_3 gesplitst in CaO en CO_2 , wat resulteert in ongeveer 500 kg CO_2 -uitstoot per ton klinker. Tijdens de gebruiksfase van beton treedt natuurlijke carbonatie op, waarbij ongeveer 20% van deze CO_2 -uitstoot gedurende de gebruiksfase weer in het beton wordt vastgelegd. Carbonatie begint meestal aan het oppervlak en dringt meestal slechts enkele centimeters diep in het beton door. Dit betekent dat de kern van het beton nog steeds het potentieel heeft om te carbonateren. (van Gent, 2021, p. 28)

Er worden recyclingstechnieken ontwikkeld om cementsteen vrij te maken uit betonpuin, wat bekend staat als selectieve scheiding. De potentie van de cementsteen die vrijkomt uit betonrecycling om CO_2 op te nemen kan ongeveer 20% cementsteen en fijne deeltjes worden vrijgemaakt. Deze cementsteen heeft het vermogen om ongeveer 100 kg CO_2 per ton op te nemen. Voor het recyclen zijn verschillende technieken:

- ▶ **Slim breken (Smartcrusher):** De SlimBreker is speciaal ontworpen om beton op een circulaire manier te verwerken. Dit is met name cruciaal als de CO_2 -vrije route voor het verkrijgen van nieuw cement wordt gevolgd, waarbij het van groot belang is om cement zo zuiver mogelijk te herwinnen zonder fijngemalen zand. In betonpuin is over het algemeen ongeveer 40-50% ongebruikt cement aanwezig, wat direct opnieuw kan worden benut. Daarom is het essentieel om betonpuin droog te verwerken. De SlimBrekers werken in gesloten containers zonder stofemissie, wat een belangrijk aspect is. De SlimBreker kan worden gevoed met betonpuin met een korrelgrootte van 0-150 mm. Het grote voordeel van deze relatief grove invoer is het kleine specifieke oppervlak en daardoor beperkte vochtigheid. Als een "bijproduct" ontstaat er warmte in de SlimBreker, waardoor het vrijgekomen grind, zand, cementsteen en ongehydrateerd cement droog de SlimBreker verlaten. In de SlimBreker 2.0, gelanceerd in het vierde kwartaal van 2015, wordt al een scheiding gemaakt tussen nieuw, ongebruikt cement en cementhydraat. Traditionele brekers breken vaak van groot naar klein en beschadigen hierbij vaak het zand en grind. De SlimBreker breekt uitsluitend het cementsteen en laat het zand en grind onbeschadigd. (Betoniek, 2011) (Betonhuis, 2021g)

- ▶ **ADR (Advanced Dry Recovery):** de ADR van C2CA International BV is een scheidingstechniek die oorspronkelijk is ontwikkeld om moeilijk van elkaar te scheiden componenten te scheiden, met name om metalen fracties te herwinnen uit bodemassen. De ADR is gebaseerd op het principe van een ballistische/kinetische scheider en maakt gebruik van een snel draaiend schoepenrad. Dit rad slingert aardvochtige mengsels weg, waardoor tijdelijk de 'kleefkracht' van het water die de verschillende componenten aan elkaar plakt, wordt overwonnen. Hierdoor kan een zekere mate van scheiding worden bereikt die moeilijker te bereiken is met zeven voor dergelijke vochtige mengsels. De ADR-techniek wordt vaak gebruikt om vochtige mengsels met een korrelgrootte van 0 tot 16 mm te scheiden, die voorheen moeilijk te scheiden waren met traditionele brekers. (Betoniek, 2011) (Betonhuis, 2021g)



Figuur 4: Recycling d.m.v. selectieve scheiding

Overgenomen uit Webinar 5 - Nieuwe recyclingmethoden voor beton [film] door H. Hofman, 2021.

Geraadpleegd op 24 oktober 2023, van YouTube: (<https://www.youtube.com/watch?v=d67aog8UtRw>).

Copyright 2021, Betonhuis.

Het is ook belangrijk om bij de grondstoffenproductie een mengsel te creëren dat geschikt is voor hergebruik zodat alle grondstoffen in elk type beton kunnen worden toegepast. ■■■ is reeds bezig met het ontwikkelen van dergelijke mengsels ■■■■

Voordelen:

- ▶ Bijna alle uitstoot van processen die plaatsvinden bij de productie van klinkers kunnen opnieuw duurzaam worden vastgelegd.

Nadelen:

- ▶ Om alle 1 miljoen ton cementsteen die vrijkomt bij selectieve scheiding duurzaam te kunnen verwerken, moet het worden vervoerd naar een centrale carbonatie-installatie.

Stimulansen: Voorschrijven selectief slopen (gescheiden materiaalstromen);

Voorschrijven selectieve separatie;

Hoogwaardig sluiten van kringlopen.

Uitdagingen: Organiseren van de markt;

Logistiek concept inzamelen;

Investerings in carbonatie installatie.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2030.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Rutte Groep (Link magazine, 2019) (zie bijlage 1)

7.2 Hergebruik betonconstructies en elementen

7.2.1 Herbestemmen & renoveren

Het hergebruik van bestaande (beton)constructies in gebouwen wordt steeds vaker overwogen vanuit duurzaamheidsoogpunt. Er zijn veel voorbeelden, waaronder het ING-kantoor in Arnhem dat wordt omgebouwd tot woningen en het RWS-kantoor in Utrecht dat volledig wordt gerenoveerd. Met de groeiende nadruk op energetische duurzaamheid zal in de komende decennia veel vastgoed beschikbaar komen dat herbestemd kan worden met behoud van de bestaande constructieve kern. Hoewel dit nu nog een nichemarkt is, wordt verwacht dat met de toenemende eisen op het gebied van milieuprestaties, zoals de Milieuprestatie Gebouwen (MPG), het hergebruik van bestaande constructieve skeletten steeds aantrekkelijker wordt. (van Gent, 2021, p. 27)

Een conservatieve schatting is dat het aantal herbestemmingen tegen 2030 zal verdubbelen ten opzichte van 2020 en tegen 2050 nogmaals zal verdubbelen. Volgens het CBS zijn tussen 2012 en 2018 jaarlijks gemiddeld meer dan 10.000 woningen gerealiseerd door transformatie, met zelfs 13.000 in 2018. Hierdoor werd jaarlijks 350.000 kubieke meter nieuw beton vermeden. Als we uitgaan van een uitstoot van 500 kg CO₂ per kubieke meter beton, resulteert dit in een jaarlijkse CO₂-reductie van 175.000 ton in 2020, 260.000 ton in 2030 en 350.000 ton in 2050. (van Gent, 2021, p. 27)

Voordelen:

- ▶ Voorkomen nieuwbouw en materiaalgebruik.

Nadelen:

- ▶ Op dit moment is hergebruik vaak nog duurder dan sloop en nieuwbouw.

Stimulansen: De geleidelijke verlaging van de toegestane schaduwprijs voor gebouwen (MPG) wordt gezien als de belangrijkste stimulans voor hergebruik.

Uitdagingen: Normen en functionele eisen met betrekking tot zaken als verdiepingshoogte, belastbaarheid en brandbestendigheid kunnen de vooruitgang van deze ontwikkeling belemmeren.

Realiseerbaarheid: 100% beschikbaar.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Wordt al geïmplementeerd in de praktijk door: Universiteit Utrecht (Jansen K. , 2023)

7.2.2 Hergebruik beton elementen

Het uitgangspunt is om volledig prefab-elementen te hergebruiken om dezelfde of vergelijkbare functies te vervullen. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van een ligger of kolom als funderingsbalk voor bijvoorbeeld een vrijstaande woning. De CO₂-uitstoot voor de fundering van een dergelijke woning bedraagt ongeveer 6 ton per woning, wat overeenkomt met ongeveer 25 kubieke meter beton. (van Gent, 2021, p. 46)

Met 75.000 nieuwe woningen per jaar zou dit leiden tot een jaarlijkse CO₂-impact van 450.000 ton. Als er ook andere toepassingen meegerekend kunnen worden, is de geschatte totale marktwaarde twee keer zo hoog, dus 900.000 ton CO₂-uitstoot voor funderingen. (van Gent, 2021, p. 46)

Als er serieus rekening wordt gehouden met dit perspectief, kan er worden gestreefd naar het hergebruiken van 20% van de benodigde funderingen door liggers en kolommen. Dit zou in theorie een jaarlijkse besparing van 200.000 ton CO₂ kunnen opleveren. Er is echter niet gekeken naar de beschikbaarheid van de benodigde hoeveelheid prefab liggers, kolommen en balken uit sloopprojecten. (van Gent, 2021, p. 46)

Het hergebruiksperspectief is voorlopig beperkt toepasbaar, omdat in de huidige gebouwde omgeving de meeste betonelementen, zoals vloeren, kolommen en balken, niet eenvoudig losgemaakt kunnen worden, maar vaak geïntegreerd zijn in de constructie. Daarom wordt uitgegaan van een toepasbaarheid van slechts 10%. (van Gent, 2021, p. 46)

Voordelen:

- ▶ Verhoging hergebruikpercentage;
- ▶ Minder energie benodigd dan (slim) breken betonpuin.

Nadelen:

- ▶ Theoretisch handelingsperspectief, niet zonder risico's;
- ▶ Duurder dan nieuwbouw.

Stimulansen: MPG gebouwen.

Uitdagingen: Elementen die oorspronkelijk zijn ontworpen voor gebruik binnenshuis, zijn waarschijnlijk niet geschikt voor hergebruik als fundering vanwege onvoldoende milieuklasse.

Realiseerbaarheid: Al beschikbaar / 100% beschikbaar in 2025.
 → Praktisch moeilijk.

In samenhang met: Ontwerpen voor toekomstig hergebruik.

Aangezien deze ontwikkeling in de markt van de komende 10 jaar 100% beschikbaar is, zal deze ontwikkeling worden meegenomen in dit onderzoek.

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Het Bouwwaardemodel.....	5
Figuur 2: De ladder van Lansink (R-ladder).....	6
Figuur 3: Optimale korrelpakking.....	29
Figuur 4: Recycling d.m.v. selectieve scheiding.....	53

Tabellijst

Geen gegevens voor lijst met afbeeldingen gevonden.

Literatuurlijst

- ▶ Aanen, H. (2023). *Communicatie*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Aanen, H. (2023). *Ketenanalyse Beton*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Besteman, T. (2023, 8 Oktober). Tata Steel-topman Narendran: "Ik weet niet of je ooit helemaal zonder steenkool kunt". *Telegraaf*. Opgehaald van <https://www.telegraaf.nl/financieel/634489160/tata-steel-topman-narendran-ik-weet-niet-of-je-ooit-helemaal-zonder-steenkool-kunt#:~:text=Financieel%20%7C%20Telegraaf.nl-,Tata%20Steel%20topman%20Narendran%3A%20Ik%20weet%20niet%20of%20je.ooit%20helemaal%20>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021a). *Webinar 10 - Zelfhelend beton en alternatieve wapening* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=OLjXqGGXKM0&t=2180s>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021b). *Webinar 11 - Solida en Ternocem, nieuwe cementsoorten brengen uitstoot van CO2 omlaag* [Film]. Opgeroepen op 19 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=bmy284NYrRY>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021c). *Webinar 6 - Geopolymeren en AEC-vulstof* [Film]. Opgeroepen op 19 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=kZeZyQ1olp8&t=150s>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021d). *Webinar 9 - Vergroening en verlaging van het energieverbruik tijdens het transport* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=TwRN_d5ePZM
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021e). *Webinar 7 - Vulstoffen en optimale korrelpakking* [Film]. Opgeroepen op 19 oktober, 2023, van Youtube : <https://www.youtube.com/watch?v=9JJhNVG8zY0&t=2291s>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2023f). *Webinar 8 - Vergroening, verlaging van het energieverbruik tijdens de productie* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023 van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=ZfXYWUo44IA>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021g). *Webinar 5 - Nieuwe recyclingmethoden voor beton* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=d67aoq8UtRw>
- ▶ Betoniek. (2011, 8 november). Oud beton wordt jong beton. *Betoniek*, p. 18. Opgehaald van <https://www.betoniek.nl/artikel/15/19-oud-beton-wordt-jong-beton>
- ▶ Betoniek. (2016). *Aluminium in AEC-granulaat risicovoller dan aangenomen*. Opgehaald van Betoniek: <https://www.betoniek.nl/aluminium-in-aec-granulaat-risicovoller-dan-aangenomen>
- ▶ Betoniek (Regisseur). (2023). *Webinar - Bouwen met geopolymeerbeton* [Film]. Opgeroepen op 31 oktober 2023, van: <https://www.betoniek.nl/terugblik-webinar-bouwen-met-geopolymeerbeton-er-is-steeds-meer-interesse>
- ▶ Bouw Circulair. (sd). *Bouwwaardemodel*. Opgeroepen op 6 december, 2023, van Bouw Circulair: <https://bouwcirculair.nl/bouwwaardemodel/>
- ▶ Bouwend Nederland. (sd). *Bio-beton met Olifantsgras helpt CO2 reduceren*. Opgehaald van Bouwend Nederland: https://www.bouwendnederland.nl/media/8624/case_olifantsgras_.pdf
- ▶ City of Rotterdam. (2022, 30 juni). *Bouwwaardemodel: Circulair ontwerpen*. *BEwerken online*. Opgeroepen op 6 december, 2023, van <https://bewerken.online/innovaties/de-ultieme-rol-in-de-bouwketen>
- ▶ Context architecten. (2019, 17 januari). *De week van de circulaire economie*. Opgeroepen op 6 december, 2023, van Context architecten: <https://www.contextarchitecten.nl/2019/01/17/de-week->

- [van-de-circulaire-economie/](#)
- ▶ Dekker, L. (2021, 3 maart). *Roadmap Hergebruik Reststromen*. Opgehaald van Betonakkoord: <https://www.betonakkoord.nl/wp-content/uploads/sites/43/166796/roadmap-hergebruik-beton-reststromen-03.pdf>
 - ▶ EcoDrive. (sd). *Het nieuwe rijden*. Opgeroepen op 23 oktober, 2023, van EcoDrive: <https://www.ecodrive.eu/nl/mvo/het-nieuwe-rijden>
 - ▶ Gubbels. (2022). *Textielfabriek Havep maakt plaats voor woonwijk*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Gubbels: <https://gubbels.nl/projecten/textielfabriek-havep-maakt-plaats-voor-woonwijk->
 - ▶ Heidelberg Cement. (2021). *Ternocem "Aan de slag met het betonakkoord"*. Opgehaald van Betonhuis: <https://betonhuis.nl/system/files/2021-11/ternocem-betonhuis-19-11-2021.pdf>
 - ▶ Heidelberg Cement Benelux. (sd). *Afvang en opslag van koolstof*. Opgeroepen op 20 oktober, 2023, van Heidelberg Cement: <https://www.heidelbergcement.be/nl/afvang-en-opslag-van-koolstof>
 - ▶ Heidelberg Cement. (sd). *Groundbreaking Technologies: CCU/S - Carbon Capture, Utilisation and Storage*. Opgehaald van Heidelberg Materials: <https://www.heidelbergmaterials.com/sites/default/files/assets/document/cc/6d/heidelbergcement-factsheet-ccus.pdf>
 - ▶ Heidelberg Materials (Regisseur). (2020). *Carbon Capture Technologies* [Film]. Opgeroepen op 18 september 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=f0NgTfLUgQ>
 - ▶ Infrasite. (2022, 13 april). *Einde nadert voor zand- en grindwinning in Nederland*. Opgeroepen op 25 oktober, 2023, van Infrasite: <https://www.infrasite.nl/bouwen/2022/04/13/einde-nadert-voor-zand-en-grindwinning-in-nederland/#:~:text=Een%20van%20de%20grootste%20zand,einde%20en%20stopt%20medio%202025.>
 - ▶ Jansen, K. (2023, 25 augustus). *Betonnen casco van pand Universiteit Utrecht geschikt voor nieuwbouw*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Betonhuis: <https://betonhuis.nl/betonmortel/betonnen-casco-van-pand-universiteit-utrecht-geschikt-voor-nieuwbouw>
 - ▶ Jansen, P. (2021, 2 juli). *REKO levert hoogwaardige bouwgrondstoffen aan Hoogeveense betonleverancier*. Opgeroepen op 25 oktober, 2023, van Stad en groen: <https://www.stad-en-groen.nl/article/36828/reko-levert-hoogwaardige-bouwgrondstoffen-aan-hoogeveense-betonleverancier>
 - ▶ Kerkhoven, R. (2022, 7 september). *Betonmortel en CO2 emissie*. Opgeroepen op 9 oktober, 2023, van Betonhuis: <https://betonhuis.nl/betonmortel/betonmortel-en-co2-emissie>
 - ▶ Link magazine. (2019, 19 oktober). *We kunnen beton geheel recyclen tot nieuw beton*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Link magazine: <https://linkmagazine.nl/we-kunnen-beton-geheel-recyclen-tot-nieuw-beton/?v=796834e7a283>
 - ▶ NOS. (2019, 9 december). *Na 94 jaar valt doek voor cementfabriek ENCI in Maastricht*. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van <https://nos.nl/artikel/2314022-na-94-jaar-valt-doek-voor-cementfabriek-enci-in-maastricht>
 - ▶ Rijkswaterstaat. (2020). *Waterstof*. Opgeroepen op van 25 oktober, 2023, van Rijkswaterstaat Duurzame Mobiliteit: <https://rwsduurzamemobiliteit.nl/beleid/routeradar/mmip-duurzaam-toekomstbestendig-mobiliteitssysteem/routeradar-innovatiemonitor-marktontwikkeling/vrachtauto/waterstof/>
 - ▶ RVO. (2020, 30 juli). *R-ladder - Strategieën van circulariteit*. Opgeroepen op 6 december, 2023, van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/r-ladder>
 - ▶ RVO. (2023, 17 augustus). *Technology Readiness Levels (TRL)*. Opgeroepen op 6 december, 2023, van RVO: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/trl>
 - ▶ Schouten, J. (2021, 11 juni). *Wat is het brandstofverbruik van een LNG-truck?* Opgeroepen op 23 oktober, 2023, van Volvo Trucks: <https://www.volvotrucks.nl/nl-nl/news/kennisbank/brandstof->

- [besparen/wat-is-het-brandstofverbruik-van-een-Ing-truck.html#:~:text=LNG%20heeft%20een%20grote%20energie.voor%201%2C39%20liter%20diesel.](#)
- ▶ van Gent, P. (2021). *Road map CO2*. Opgehaald van Betonakkoord: https://www.betonakkoord.nl/wp-content/uploads/sites/43/166796/road_map_co2_januari_2021_versie_1_2.pdf
 - ▶ Van Staveren. (2023, 7 juni). *De voor- en nadelen van HVO diesel*. Opgeroepen op 23 oktober, 2023, van Staveren: <https://www.staveren.nl/kennisbank-categorie/de-voor-en-nadelen-van-een-hvo-diesel/>
 - ▶ Verweij, M. (2023, 25 april). *Lavameel: een oude bekende in het nieuw*. *Betoniek*. Opgeroepen op 8 november, 2023, van <https://www.betoniek.nl/lavameel-een-oude-bekende-in-het-nieuw#:~:text=Lavameel%2C%20ook%20wel%20tras%20geheten%2C%20is%20een%20materiaal%20op%20basis.voor%20gegranuleerde%20hoogovenslak%20en%20poederkoolvliegass>.
 - ▶ Vibers. (sd). *Olifantsgras*. Opgeroepen op 6 november, 2023 van Vibers: <https://vibers.nl/nl/producten/olifantsgras/>
 - ▶ Voorbij Prefab. (sd). *Groen beton*. Opgeroepen op 3 november, 2023, van Voorbij prefab: <https://www.voorbijprefab.nl/circulair/groen-beton>
 - ▶ Wouters, P. (2019). *Ketenanalyse Beton*. Opheusden: GMB. Opgehaald van <https://cdn.i-pulse.nl/gmb-website/userfiles/CO2-Prestatieladder/ketenanalyse-beton-gmb-2019-definitief.pdf>

Inhoud bijlagen

1.	Bijlage - Voorbeeldprojecten	2
1.1	Carbon capture	2
1.2	Duurzame brandstoffen	4
1.3	Alternatieve grondstoffen / mengselsamenstelling	8
1.4	Duurzame productie	11
1.5	Slim ontwerpen	11
1.6	Duurzaam slopen	12
1.7	Hergebruiken	13
2.	Bijlage – Tabel maatregellijst	15
3.	Bijlage – Multi Criteria Analyse	17
	Tabel- en figuurlijst	19
	Figuurlijst	19
	Tabellijst	19
	Literatuurlijst	19

1. Bijlage - Voorbeeldprojecten

In deze bijlage zijn van de besproken innovaties in de maatregellijst een aantal voorbeeldprojecten weergegeven om de haalbaarheid en de uiteindelijke opschaling aan te kunnen tonen.

1.1 Carbon capture

Opslag na verbranding - CCS in Brevik, Noorwegen (A1)

Brevik CCS is het meest geavanceerde project van Heidelberg Materials binnen CCS, en zal in 2024 operationeel zijn. Brevik CCS maakt deel uit van het "Longship" programma van de Noorse regering, bedoeld



Figuur 1: CCS in Brevik
 Overgenomen uit: Brevik CCS - World's first CO₂-capture facility at a cement plant door Heidelberg Materials, sd. Geraadpleegd op 20 oktober 2023, van: (<https://www.brevikccs.com/en>).
 Copyright, Heidelberg Materials.

om de afvang van CO₂ uit industriële bronnen en transport aan te tonen, inclusief veilige opslag van de CO₂. De CO₂ zal worden getransporteerd in het huidige leidingstelsel van Statoil, wat momenteel al wordt gebruikt om CO₂ uit de gasproductie te transporteren naar het offshore platform om vervolgens te injecteren in formaties onder de zeebodem. Daarnaast zullen er ook kleine hoeveelheden CO₂ per schip worden vervoert. (Heidelberg materials, sd)

Zuurstoftechnologie – Catch4Climate in Mergelsetten, Duitsland (A1)

Op het terrein van de cementfabriek in Mergelstetten zijn er plannen om een demonstratiefabriek op semi-



Figuur 2: Catch4Climate in Mergelsetten
 Overgenomen uit: Unser Projekt: Mit catch4climate CO₂ abscheiden und nutzbar machen door Catch4climate, 2021. Geraadpleegd op 20 oktober 2023, van: (<https://catch4climate.com/#projekt>). Copyright 2021, Catch4climate.

industriële schaal bouwen en exploiteren, die gebruik maakt van het zogenaamde autogeen proces voor het afvangen van CO₂. Met het pilotproject 'catch4climate' wordt actief bijgedragen aan de afvang van de CO₂ en het industriële gebruik ervan. De in Mergelstetten gewonnen CO₂ zal in de toekomst worden gebruikt voor de productie van zogenaamde 'reFuels', dat wil zeggen: klimaat neutrale synthetische brandstoffen, zoals kerosine voor de luchtvaart, met behulp van hernieuwbare energiebronnen. (Catch4climate, 2021)

Directe scheiding – LEILAC in Lixhe, België (A1)

LEILAC (Low Emissions Intensity Lime And Cement) is een reeks onderzoeks- en innovatieprojecten gericht op CO₂-afvang. Dankzij de steun van de Europese Unie zal LEILAC de Europese cement- en kalkindustrie in staat stellen om hun CO₂-uitstoot aanzienlijk te verminderen. Het projectteam begon in 2016 en omvat vooraanstaande partners uit de industrie, technologie en onderzoek en ontwikkeling. De eerste fase van het project, LEILAC1, omvatte de constructie van een proefinstallatie in Lixhe, een buitengewoon project dat aanzienlijke inspanningen op het gebied van onderzoek, ontwikkeling en engineering vereiste. De

resultaten van dit proefproject waren zeer overtuigend. Het liet zien dat het principe van directe CO₂-afvang tijdens het calcinatieproces succesvol kon worden toegepast, zonder vermenging met de verbrandingsgassen uit de oven. Daarnaast



Figuur 3: LEILAC 1 in Lixhe
 Overgenomen uit: *Afvang en opslag van koolstof door Heidelberg Cement Benelux*, sd. Geraadpleegd op 20 oktober 2023, van: (<https://www.heidelbergcement.be/nl/afvang-en-opslag-van-koolstof>). Copyright, Heidelberg Cement Benelux.

werden studies uitgevoerd om de installatie in verschillende configuraties te integreren, de duurzaamheid van het proces te bevestigen en bewustmakingsactiviteiten te ondernemen. Het proefproject bleek veilig en gebruiksvriendelijk te zijn, en de procesveiligheid werd nooit in gevaar gebracht. Naarmate LEILAC wordt getest en opgeschaald, wordt verwacht dat het de kosten van CO₂-afvang aanzienlijk zal verlagen en de adoptie ervan zal versnellen, wat gunstig is voor het verminderen van CO₂-uitstoot. (Heidelberg Cement Benelux, sd)

CO₂ transport en opslag – Porthos Rotterdam (A1)

Porthos is bezig met de ontwikkeling van een project waarbij CO₂, afkomstig van verschillende industriële bronnen in de haven van Rotterdam, wordt verzameld en vervolgens opgeslagen in lege gasvelden onder de Noordzee. De CO₂-afvang gebeurt door diverse bedrijven die hun CO₂ aanleveren aan een centrale leiding die door het Rotterdamse havengebied loopt. Daarna wordt de CO₂ in een compressorstation onder druk gebracht. De CO₂ wordt vervolgens via een onderzeese pijpleiding getransporteerd naar een platform in de Noordzee, dat zich ongeveer 20 kilometer uit de kust bevindt. Vanaf dit platform wordt de CO₂ geïnjecteerd in lege gasvelden die zich bevinden in een afgesloten reservoir van poreus zandgesteente, op een diepte



Figuur 4: Porthos Rotterdam
 Overgenomen uit *Project door Porthos*, 2023. Geraadpleegd op 20 oktober 2023, van: (<https://www.porthosco2.nl/project/>). Copyright 2023, Porthos.

van ruim 3 kilometer onder de Noordzee. In totaal is Porthos van plan om ongeveer 37 miljoen ton CO₂ op te slaan, wat neerkomt op ongeveer 2,5 miljoen ton CO₂ per jaar gedurende een periode van 15 jaar. Het Porthos-project heeft de erkenning gekregen van de Europese Unie als een Project of Common Interest. (Porthos, 2023)

Aannemingsbedrijf Van der Ven heeft opdracht gekregen voor het deelproject “Porthos Perceel A Koelwater- pompgebouw”. Het werk houdt het bouwen van het koelwaterpompgebouw in, wat zeewater inneemt voor het koelen van het compressieproces.

1.2 Duurzame brandstoffen

Baggeren op elektriciteit - Dekker groep (A1)

Een van de grootste drijvende zandfabrieken in Europa werkt nu op groene energie. Dekker groep heeft de eerste mijlpaal bereikt in hun reeks duurzaamheidsinitiatieven met een indrukwekkende 80% vermindering van de CO₂-uitstoot. Een van de meest immense drijvende installaties in Europa, bijna even lang als een voetbalveld, draait nu op milieuvriendelijke stroom die wordt geleverd via een hoogspanningskabel vanaf



Figuur 5: Baggeren op elektriciteit

Overgenomen uit: Een van Europa's grootste drijvende zandfabrieken op groene stroom door Dekker Groep, 2021. Geraadpleegd op 22 oktober 2023, van: (<https://www.dekkergroep.nl/actueel/pers/-2432-een-van-europas-grootste-drijvende-zandfabrieken-op-groene-stroom/>). Copyright 2021, Dekker Groep.

het vasteland. De enorme 100.000 liter dieselopslagtank is nu leeg, en de generator staat stil. In totaal zijn er nu 5 winning installaties die volledig emissievrij werken. Deze opmerkelijke elektrificatie heeft ervoor gezorgd dat Dekker Groep nu bij elke ton gewonnen zand en grind maar liefst 80% minder koolstofdioxide (CO₂) uitstoot. Dit komt neer op een jaarlijkse besparing van ruim 3 miljoen liter diesel. Dit is een belangrijke mijlpaal en markeert de realisatie van het doel dat het bedrijf zeven jaar geleden voor zichzelf stelde als de eerste stap in de richting van een duurzame bedrijfsvoering. (Dekker groep, 2021)

Duurzame winning van grondstoffen – Dekker groep (A1)

Dekker groep hecht groot belang aan het winnen van zand met behulp van groene energie. Daarom hebben ze ervoor gekozen om voor de Willemspolder, na grondig onderzoek, de voorkeur uit te laten gaan voor de



Figuur 6: Duurzame grondstoffenwinning

Overgenomen uit: Dekker legt 3 kilometer stroomkabel aan voor duurzame winning door Dekker Groep, 2022. Geraadpleegd op 22 oktober 2023, van: (<http://www.dekkergroep.nl/actueel/nieuws/-2670-dekker-legt-3-kilometer-stroomkabel-aan-voor-duurzame-winning/>). Copyright 2022, Dekker Groep.

vroegst beschikbare stroomaansluiting, zelfs als dit betekent dat ze zelf een uitgebreid netwerk van kabels moeten aanleggen. Voor de nieuwe grootverbruikers is het momenteel een uitdaging om een plek te veroveren op het Nederlandse elektriciteits-netwerk, aangezien de energietransitie netbeheerders in Nederland voor grote vraagstukken plaatst. Dekker groep heeft een nieuwe aansluiting gerealiseerd voor grootschalig energieverbruik zodat de zandzuiger Emmy en de klasseerinstallatie Yvonne de komende jaren zand kunnen winnen met behulp van milieuvriendelijke elektriciteit. (Dekker groep, 2022)

ENCI groeve Maastricht – Transformatie naar natuurgebied (A1)

De ENCI-groeve dient als een prachtig voorbeeld van hoe een voormalige groeve is getransformeerd tot een natuurlijke omgeving. Sinds 1926 werd in de ENCI-groeve kalk gewonnen om cement te produceren in nabijgelegen fabrieken. Dit resulteerde in een enorme kuil in het landschap, waarbij ook oudere ondergrondse mergelgroeves verdwenen. Tijdens het delven van de kalk, die zo'n zeventig miljoen jaar geleden werd gevormd tijdens het 'Maastrichtien'-tijdperk, ontdekten werknemers van de ENCI opmerkelijke

fossielen. Aangezien de krijtlagen ontstonden in een ondiepe subtropische zee, bestonden deze fossielen voornamelijk uit overblijfselen van zeedieren, zoals zee-egels en haaiantanden (Visit Zuid-Limburg, sd). Ook zwom hier de Mosasaurus, ook bekend als de maashagedis, een van de laatste overlevende soorten uit het dinosaurius tijdperk, waarvan verschillende botten zijn teruggevonden. De ENCI, voluit de Eerste Nederlandse Cement Industrie, was van nationaal belang gedurende negentig jaar, doordat het een

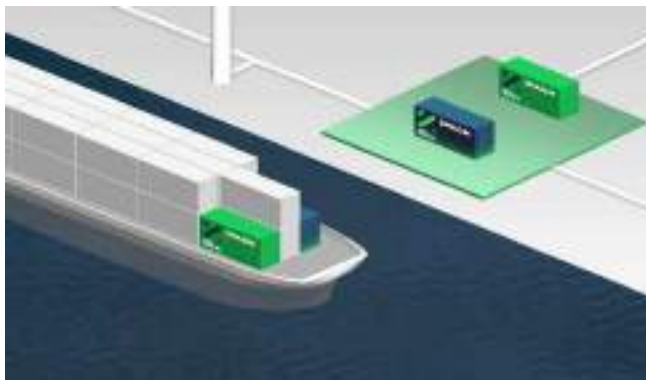


Figuur 7: Natuurgebied ENCI groeve
 Overgenomen van: Bijzondere wandeling – Rondje Enci-groeve in Maastricht (4 km.) door Alle kids op reis, 2023. Geraadpleegd op 27 oktober 2023, van: (<https://allekidsopreis.nl/wandeling-enci-groeve/>). Copyright 2023, Alle kids op reis (Alle kids op reis, 2023).

belangrijke leverancier was van kalk voor de cementproductie. Naast het winnen van kalk, werden in de ENCI-groeve ook het halffabrikaat genaamd 'klinker' en het eindproduct, cement, vervaardigd. In 2018 werd de laatste kalk gewonnen. Daarna heeft Natuurmonumenten de groeve herontwikkeld tot een natuurgebied. Vanaf een indrukwekkend uitkijkpunt kun je nu genieten van het prachtige uitzicht over het Maasdalen, de groeve en de omliggende bossen. Via 215 trappen kun je afdalen in de groeve, langs verschillende krijtlagen die je meenemen terug in de tijd. Uiteindelijk kun je wandelen op de voormalige bodem van de prehistorische Krijtze. De herontwikkeling in natuur zorgt voor CO₂-opname. (Visit Zuid-Limburg, sd)

Zero emission services – Emissieloos varen (A2)

ZES (Zero Emission Services, sd) levert verwisselbare energiecontainers aan zowel nieuwe als bestaande binnenvaartschepen. Deze containers, bekend als ZESpacks, worden gevoed met hernieuwbare elektriciteit. Zodra deze containers leeg zijn, hebben schippers de mogelijkheid om ze snel om te wisselen voor volle exemplaren bij een van de wissel- en laadstations. Deze stations zijn onderdeel van een "open



Figuur 8: Zero Emissions Services
 Overgenomen uit: Zero Emission Services: all-inn concept voor emissievrije binnenvaart door Zero Emission Services, sd. Geraadpleegd op 26 oktober 2023, van: (<http://zeroemissionservices.nl/>). Copyright, Zero Emission Services.

access" netwerk en kunnen niet alleen dienen om schepen van stroom te voorzien, maar ook om het elektriciteitsnet te stabiliseren of om tijdelijke lokale elektriciteitsbehoeften te vervullen. Het innovatieve concept van ZES biedt gebruikers een duurzame oplossing voor de toekomst. Bovendien is het mogelijk dat de ZESpacks in de toekomst ook met waterstof zullen werken. Met dit baanbrekende idee verschaft ZES een praktische, direct beschikbare oplossing aan verschillende belanghebbenden om hun duurzaamheidsdoelen te bereiken. (Zero Emission Services, sd)

Binnenvaartschip op waterstof – Emissieloos varen (A2)

Het containerschip, oorspronkelijk gebouwd in 1998 en eigendom van Future Proof Shipping (FPS), heeft een lengte van meer dan 100 meter en heeft een indrukwekkende transformatie ondergaan. Het schip is omgebouwd van een traditioneel binnenvaartschip met een dieselmotor naar een schip met een elektromotor, die wordt aangedreven door waterstof. In het laadruim van het schip bevinden zich twee

speciale containers waarin brandstofcellen zijn geplaatst, waarin maximaal 1000 kilo waterstof is opgeslagen onder een druk van 300 bar. Indien nodig kan het schip zelfs nog een extra bak van 90 meter



Figuur 9: Binnenvaartschip op waterstof
 Overgenomen uit: Eerste emissieloze binnenvaartschip op waterstof in de vaart door ANP, 2023. Geraadpleegd op 26 oktober 2023, van: (<https://www.deondernemer.nl/actueel/eerste-emissieloze-binnenvaartschip-op-waterstof-in-de-vaart~4537512?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>).
 Copyright 2023, ANP.

lang voortduwen. Het schip, dat de naam H2 Barge 1 draagt, vaart vanaf juni 2023 tussen de havens van Rotterdam en Meerhout in België en heeft een capaciteit van ongeveer 200 containers. Met de opgeslagen 1000 kilo waterstof is het mogelijk om de bijna 200 kilometer lange reis van Rotterdam naar België en terug af te leggen zonder enige uitstoot van schadelijke stoffen. Om het schip volledig emissieneutraal te maken, is er ook een reserve aandrijvingssysteem geïmplementeerd, dat bestaat uit een reeks batterijen die door het schip zelf worden opgeladen. (ANP, 2023)

Elektrische truckmixer – Emissieloos rijden (A4)

Kijlstra heeft de primeur van 's werelds eerste volledig elektrische betonmixer. Dankzij de elektrische aandrijving van zowel de betonmixer als de vrachtwagen is deze betonmixer geluidsarm en stoot hij geen CO₂ of stikstof uit. Het gebruik van deze betonmixer heeft dus geen nadelige effecten op de leefbaarheid in de directe omgeving van een bouwproject, in tegenstelling tot betonmixers die op benzine of diesel werken.



Figuur 10: Elektrische truckmixer van Kijlstra
 Overgenomen uit: Kijlstra levert mortel met elektrische betonmixer compleet stikstofvrij af door A. Tissink, 2020. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.cobouw.nl/287691/.nl/287691/kijlstra-levert-mortel-met-elektrische-betonmixer-compleet-stikstofvrij-af>).
 Copyright 2020, Cobouw (Tissink, 2020).

Ook de gebieden langs de bouwroute, vanaf de betoncentrale tot aan het bouwproject, profiteren hiervan. Betonproducent Kijlstra heeft met trots 's werelds eerste elektrische betonmixer in zijn bezit. In samenwerking met Bontrup Mortel Circulair beheren beide bedrijven een betonfabriek in de haven van Amsterdam. Met de inzet van deze elektrische betonmixer zetten ze daadwerkelijk hun stempel op het duurzaamheidsbeleid van zowel de gemeente Amsterdam als de Amsterdamse haven (Port of Amsterdam). Naast de elektrische betonmixer heeft Kijlstra momenteel ook 15 hybride betonmixers rijden. (BLVC, 2020) (Betonhuis, 2021b)

Naast elektrisch betonmixers zijn er ook de eerste pilotprojecten met betonmixers op waterstof, zoals het project: "Zero emission betonmixer4all", hieraan werken momenteel [REDACTED]

Duurzaam betonpompen – Elektrische betonpomp (A5)

Faber betonpompen is het eerste bedrijf in Europa dat twee elektrische betonpompen in gebruik heeft. Hierdoor is het mogelijk om beton te storten met een aanzienlijk lagere CO₂-uitstoot. Dit positieve effect wordt nog versterkt wanneer er groene stroom op de bouwplaats wordt gebruikt. Mark Schoorl, de

commercieel directeur benadrukt het belang van deze stap en verklaart: “Wij zijn ons ervan bewust dat wij als marktleider stappen moeten ondernemen om tegen 2030 de afgesproken CO₂-reductie van 50 procent te realiseren”. Faber betonpompen beschikt momenteel over 65 betonpompen die door heel Nederland worden ingezet. Mark Schoorl geeft aan: “We vervangen nu twee van deze betonpompen door elektrische exemplaren, en als dit een succes blijkt te zijn, zullen er meer volgen.” De elektrische betonpompen worden gebruikt voor het verpompen en positioneren van het beton met elektrische aandrijving, maar ze rijden nog steeds op diesel naar de bouwplaats. Mark Schoorl voegt toe: “We volgen nauwlettend de ontwikkelingen op het gebied van waterstof-aandrijving en streven ernaar om uiteindelijk die richting op te gaan.” Hij verwacht dat de vraag naar elektrische betonpompen zal toenemen, omdat steeds meer opdrachtgevers dergelijke duurzame oplossingen zullen voorschrijven. (Faber, 2022)



Figuur 11: Elektrische betonpomp voor Faber
 Overgenomen uit: Eerste elektrische betonpomp in Europa staat bij Faber Betonpompen door Faber, 2022. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://betonhuis.nl/betonmortel/eerste-elektrische-betonpomp-europa-staat-bij-faber-betonpompen>). Copyright 2022, Betonhuis.

Groene stroom op de bouwplaats – De e-CO₂tainer (A5)

Mobilis heeft de e-CO₂tainer ontwikkeld met als doel duurzaamheid op de bouwplaats te bevorderen. De stroom wordt gegenereerd door zonnepanelen en windtribunes op de unit, en er is een generator die uitsluitend op natuurlijke biobrandstof (HVO 100) werkt. De e-CO₂tainer is een innovatie van Mobilis, een dochteronderneming van TBI, in samenwerking met Power Sonic EMEA uit Nijkerk, dat gespecialiseerd is in energieopslag via accusystemen. De geïnstalleerde aggregaat aan boord van de e-CO₂ container is de eerste ter wereld die voldoet aan de Euro 5-certificering voor HVO. De container bevat tevens accu's met een totale capaciteit van 240 kWh aan elektriciteit. Aan de buitenkant van de container is een deur geplaatst voor de aannemer, die toegang biedt tot een display met diverse monitoringsfuncties en contactinformatie. Aan de buitenzijde is een 380 V 3-fasen netaansluiting aanwezig. Met deze aansluiting kunnen de accu's worden opgeladen, en kan het elektriciteitsnetwerk bijspringen tijdens netverbruik. De uitgaande stroom wordt geregeld via 280 Volt CEE-stekkers: 1x 125 ampère en 2x 63 ampère. Hierop kunnen verschillende apparaten of voertuigen worden aangesloten die stroom nodig hebben, zoals verdeelkasten op de bouwplaats, elektrisch aangedreven machines en/of voertuigen. Bovendien kan er worden ingesteld welke power output de prioriteit heeft, afhankelijk van de behoeften. (Mol, 2022)



Figuur 12: De e-CO₂tainer van Mobilis
 Overgenomen uit: e-CO₂tainer zorgt voor onafhankelijkheid bij project A16 Rotterdam. Duurzame stroom op iedere gewenste plek door J. Mol, 2022. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.bouwmat-online.nl/artikel/e-co2tainer-zorgt-voor-onafhankelijkheid-bij-project-a16-rotterdam-duurzame-stroom-op-iedere-gewenste-plek/>). Copyright 2022, Bouwmat.

Duurzaam kubelen – Elektrische bouwkraan (A5)



Augustinus B.V. heeft onlangs geïnvesteerd in een elektrische bouwkraan. Met deze kraan kunnen betonelementen worden geplaatst en kan beton worden gestort met een kubel. Dit positieve effect wordt nog versterkt wanneer er groene stroom op de bouwplaats wordt gebruikt. (Bulten Bouwmaterieel, 2023)

Figuur 13: Elektrische bouwkraan

Overgenomen uit: *Bouwkraan op rupsonderstel voor Augustinus B.V.* door Bulten Bouwmaterieel, 2023.

Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.bultenmaterieel.nl/nieuws/bouwkraan-op-rupsonderstel-voor-augustinus-b-v>). Copyright 2023, Bulten Bouwmaterieel.

1.3 Alternatieve grondstoffen / mengselsamenstelling

Alternatieve klinker – TERNOCEM (A1)



Figuur 14: TERNOCEM

Overgenomen uit: *Eerste beton met Ternoceem®* door ENCI, 2018.

Geraadpleegd op 30 oktober 2023, van: (https://www.enci.nl/sites/default/files/assets/document/bf/8a/answers_44-enci.pdf). Copyright 2023, ENCI.

Bij de productie van Termocem-klinker wordt een aanzienlijk lagere hoeveelheid CO₂ uitgestoten dan bij de productie van reguliere Portland-klinker, namelijk 30% minder. De firma BouwOort in Lithoijen heeft op hun productielocatie betonblokken en -platen vervaardigd om ervaring op te doen met verschillende aspecten, zoals de verwerkbaarheid, open tijd en de ontwikkeling van druksterkte. In eenvoudige betonsamenstellingen met een watercementfactor van 0,40 en 0,50 was het relatief eenvoudig om de gewenste verwerkbaarheid en open tijd te bereiken. Bovendien was de ontwikkeling van de druksterkte positief, met een waarde van ongeveer 20 N/mm na 24 uur. Wat interessant is, is dat de Termocem-klinker in de productiecentrale kon worden verwerkt zonder aanpassingen aan het productieproces. (ENCI, 2018)

Alternatieve klinker – Solidia cement (A1)



Figuur 15: Solidia cement

Overgenomen uit: *Webinar 11 - Solida en Ternoceem, nieuwe cementsoorten brengen uitstoot van CO₂ omlaag* door Betonhuis, 2021. Geraadpleegd op 19 oktober 2023, van Youtube

(<https://www.youtube.com/watch?v=bmv284NYrRY>). Copyright 2021, Betonhuis.

Bij de productie van Solidia cement wordt er een aanzienlijk lagere hoeveelheid CO₂ uitgestoten dan bij de productie van reguliere Portland klinker, omdat er naast CO₂ besparing in de productie ook CO₂ kan worden opgenomen. Na de eerste pilots van deze klinker productie in Duitsland, Amerika en Hongarije wordt er bij EP Henry in Amerika commerciële toepassingen geproduceerd zoals straatstenen en prefab elementen en wordt er aan curing installaties gewerkt in aangepaste zee containers. (Betonhuis, 2021a)

Alternatieve klinker - Gecalceerde klei (A1)



Bij de productie van gecalcineerde klei wordt er een aanzienlijke lagere hoeveelheid CO₂ uitgestoten dan bij de productie van de reguliere Portlandklinker, namelijk 30%, omdat het wordt gecalcineerd bij een lagere temperatuur dan bij de traditionele klinker. In de hal van Voorbij prefab is in samenwerking met ENCI, Cugla, VBI, BTE, PQ, Delgromij en TNO de eerste wand gestort van gecalcineerde klei. (Staal, 2023)

Figuur 16: Wand van gecalcineerde klei

Overgenomen uit: Daar staan we dan, apentrots te zijn voor ons wandje van gecalcineerde klei door D. Staal, 2023. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.linkedin.com/in/dorienstaal/recent-activity/all/>) Copyright 2023, D. Staal.

Alternatief bindmiddel – Geopolymeer (A1)

Begin oktober 2023 is op het RDM terrein door JP van Eesteren een monoliete geopolymeerbetonvloer gerealiseerd in opdracht van Port of Rotterdam. De vloer is gestort en afgewerkt met beton van A. Jansen B.V en de geopolymeertechnologie van SQAPE B.V. Deze vloer volgt op een uitgebreid onderzoek dat door



Port of Rotterdam is uitgevoerd met afsluitend een succesvolle proefstort eerder dit jaar. Ten opzichte van de naastgelegen traditioneel gewapende cementbeton vloer is, onder andere dankzij de hybride wapening, de vloerdikte met 20% gereduceerd. Daarbij is de hoeveelheid wapening 40% lager en de impact van het geopolymeerbeton is minder dan 100 kg CO₂/m³, wat minder is dan de helft van het Nederlands gemiddelde. (Loonen, 2023)

Figuur 17: Stort geopolymeerbeton vloer

Overgenomen uit: Realisatie monoliete geopolymeervloer door N. Loonen, 2023. Geraadpleegd op 30 november 2023, van: (<https://www.linkedin.com/in/nikiloonen/recent-activity/all/>). Copyright 2023, N. Loonen.

Minder cement – Hybride beton (A3)

In samenwerking met de betonspecialisten van ingenieursbureau ABT heeft Voorbij prefab CO₂-arme betonmengsels ontwikkeld voor het gebruik in hun prefab fabriek. Hiermee is het mogelijk om gemiddeld



35% CO₂ te besparen, met dezelfde productiecapaciteit en prijs in vergelijking met de traditionele betonmengsels. Hierbij wordt gebruik gemaakt van Alkine Activated Concrete Mixtures (AACM), waarbij er minder cement gebruikt hoeft te worden voor een gelijke betonsterkte en uithardingstijd. Met deze technologie wordt er gewerkt conform het bouwbesluit. Zo slaagt Voorbij erin om door de inzet van alkalische activatie niet in te leveren op prestatie-eisen, en zo cement en CO₂ te besparen. (Voorbij Prefab, 2020)

Figuur 18: Groene casco van Voorbij Prefab

Overgenomen uit: Het Groene Voorbij Casco door Voorbij Prefab, 2020. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.voorbijprefab.nl/wat-we-doen/duurzaam>). Copyright 2020, Voorbij Prefab.

Bio-beton – Olifantsgras (A1)

Vibers heeft een bank ontwikkeld van bio beton onder architectuur en in samenwerking met gemeentelijke



Figuur 19: Bank bestaande uit bio-beton
 Overgenomen uit: Vibers bio beton bank door Vibers, 2019.
 Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (https://vibers.nl/wp-content/uploads/2019/11/VibersFlyer_BioBeton_BPD-1.pdf).
 Copyright 2019, Vibers.

beheerders van de openbare ruimte. Deze bank past makkelijk in bestaande situatie en bestaat uit een modulair systeem. Het beton waar deze bank uit bestaat, beton met olifantsgras, heeft goede elastische eigenschappen en een laag vochtpercentage, waardoor het geschikt is als grondstof van bouwmaterialen. Door de toevoeging van olifantsgras aan beton wordt tevens CO₂ opgeslagen en wordt er minder cement gebruikt, waardoor dit beton een lage ecologische voetafdruk heeft. (Vibers, 2019)

Mengsamenstelling – Versnellers (A3)

In Sicilië, Italië, is bij een structurele renovatie van een zeekust bescherming de versneller Master X-Seed STE toegepast met als doel het reduceren van de warmteontwikkeling door het verlagen van het



Figuur 20: Toepassing versnellers in beton
 Overgenomen uit: Webinar 7 - Vulstoffen en optimale korrelpakking door Betonhuis, 2021. Geraadpleegd op 19 oktober 2023, van: (<https://www.youtube.com/watch?v=9JJhNVG8zY0&t=2291s>). Copyright 2021, Betonhuis.

cementgehalte in de betonsamenstelling met behoud van de eindsterkte. Hierbij is een aanzienlijke verkorting in de dominante periode gerealiseerd waardoor er meer tijd beschikbaar was voor de verdere warmteontwikkeling in een vaste periode (= sterkteontwikkeling). Hierbij is het effect van de werking van beton hoger bij lagere betontemperaturen en is isolatie benodigd om het voordeel van snellere sterkteontwikkeling te behouden. (Betonhuis, 2021c)

Bio-beton – Zelf helend beton (A3)

Het Havenbedrijf Rotterdam heeft een bluswaterbassin met speciale betonnen wanden, die zichzelf kunnen herstellen. Door bacteriën aan het beton toe te voegen, kunnen ze, wanneer ze in aanraking komen met water, bijvoorbeeld in een scheur, geactiveerd worden en de schuur opnieuw dicht met kalksteen. Deze



Figuur 21: Bluswaterbassin met zelf helend beton
 Overgenomen uit: Bluswaterbassin Havenbedrijf Rotterdam door Basilisk, 2017. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://basiliskconcrete.com/portfolio-items/bluswaterbassin-havenbedrijf-rotterdam/>). Copyright 2017, Basilisk.

innovatieve technologie is ontwikkeld door de TU Delft en wordt nu in de praktijk toegepast dankzij de samenwerking tussen BAM Infra en Basilisk. Het bluswaterbassin bestaat uit een betonnen bak met vier betonnen wanden en heeft de afmetingen van 47 meter in lengte, 5 meter in hoogte en 5,5 meter breedte. Van deze vier wanden zijn er twee gemaakt in traditioneel beton, terwijl de andere twee als een experiment zijn vervaardigd met de toevoeging van de bacteriën. Dit is de eerste keer

dat deze technologie op grote schaal wordt toegepast in een constructie die ter plaatse wordt gestort. De scheuren in beide wanden traden op tijdens de stortpauze aan de onderkant van de constructie. (Basilisk, 2017)

1.4 Duurzame productie

Voorkomen afval – Recyclingmachine (A3)

Bij Betonmortelcentrale Gorkum wordt al het restbeton hergebruikt. Restbeton ontstaat bijvoorbeeld door



Figuur 22: Recyclingmachine
 Overgenomen uit: Betonmortel en CO₂ emissie van Betonmortelcentrale Gorkum, sd. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://bcgorkum.nl/co2-emissie/>).
 Copyright, Betonmortelcentrale Gorkum.

het beton wat tijdens het lossen naast de truckmixer valt of beton wat over is bij productie. Het restbeton komt in een bezinkinstallatie terecht, waar het met water gemengd wordt. Hier kan vervolgens weer toeslagmateriaal uit gehaald worden, zoals zand en grind. De slurrie, de fijne delen en het water kunnen opnieuw naar de menger waar het toegepast kan worden in nieuw beton. Zo wordt restbeton tijdens de productie voorkomen en wordt er niet onnodig opnieuw CO₂ geproduceerd. (Betonmortelcentrale Gorkum, sd) (Aanen, 2023, pp. 25-27)

CO₂ als grondstof – Carbstone (A3)

Orbix maakt gebruik van de gepatenteerde Carbstone technologie om diverse hoogwaardige materialen te



Figuur 23: Carbstone technologie
 Overgenomen uit: Voor het eerst een voetpad aangelegd met carbstone klinkers door Vito, 2020. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://vito.be/nl/nieuws/voor-het-eerst-voetpad-aangelegd-met-carbstone-klinkers>). Copyright 2020, Vito.

ontwikkelen, waarbij CO₂ wordt ingezet als bindmiddel in plaats van cement. Hiermee kan een breed scala aan producten worden geproduceerd, zoals tegels, klinkers en bouwblokken. MasterBloc gebruikt deze carbonatie technologie voor het produceren van hoogwaardige bouw-materialen, wat resulteert in CO₂-negatieve producten met een hoge druksterkte, welke tevens recyclebaar zijn. (Masterbloc, sd) (Vito, 2020)

1.5 Slim ontwerpen

Topologisch ontwerpen – 3D printen (A3/A5)

In 2019 begon het project voor het 3D-printen van de eerste betonnen bouwdelen in Eindhoven, in samenwerking tussen 3D Weber en BAM infra. Michiel van der Kley, een architect, werkte samen met Rijkswaterstaat en de Technische Universiteit Eindhoven aan dit baanbrekende initiatief. Bureau Witteveen+Bos nam de verantwoordelijkheid als technisch ingenieursbureau voor de constructie, en Summun Engineering zorgde voor het parametrische ontwerpmodel. De brug werd geprint in de betondrukkerij van Saint Gobain Weber Beamix en gebouwd door de BAM bouwgroep. Deze brug is niet alleen de langste, maar ook de grootste betonnen brug ter wereld waarbij de architect de volledige vrijheid



Figuur 24: 3D geprinte fietsbrug

Overgenomen uit: *Bicycle bridge, Nijmegen* door Weber Saint-Gobain, 2021. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.3d.weber/bicycle-bridge-nijmegen/>). Copyright 2021, Weber Saint-Gobain.

had. Op verzoek van de gemeente Nijmegen kreeg Michiel van der Kleij de mogelijkheid om volledig vrij te werken aan het ontwerp zonder beperkingen opgelegd door traditionele bouwmaterialen of processen zoals betonbekisting. (Weber Saint-Gobain, 2021)

Ontwerpen voor toekomstig hergebruik - Demontabel bouwen (A3/A5)

VBI heeft een aantal principedetails ontwikkeld waarbij kanaalplaatvloeren kunnen worden hergebruikt voor een volgende leven. Hierbij wordt de constructieve deklaag weggelaten en worden de voegen opgevuld met aardvochtige kleikorrelbeton. Daarnaast zijn de verbindingen remontabel en bij demontage bereikbaar en



Figuur 25: Remontabele principedetails VBI

Overgenomen uit: *Principedetails* door VBI, 2023. Geraadpleegd op 8 november 2023, van: (https://vbi.nl/wp-content/uploads/PDRB01-001-Principedetails_remontabel_bouwen.pdf). Copyright 2023, VBI.

moeten de kolommen per verdieping opgesplitst kunnen worden. Wanneer de kanaalplaten aan het eind van de levensduur van een gebouw onbeschadigd (remontabel ontwerp), onbesmet en veilig te bereiken zijn heeft VBI een retourname certificaat opgesteld. Deze details zijn ook in lijn met hergebruik beton elementen (D). (VBI, 2023)

1.6 Duurzaam slopen

Selectief (circulair) slopen (C1)

Na een jaar hard werken door Gubbels is er nog maar een klein gedeelte van de voormalige textielfabriek van Havep in Goirle te zien. Dit overblijvende deel zal behouden blijven en krijgt een woonbestemming. Dit project bevatte verschillende disciplines en begon met het verzamelen van herbruikbare bouwmaterialen voor de tweedehands bouwmaterialenhandel. Dakpannen zijn handmatig in kratten gestapeld, houten en stalen balken, planken, kozijnen, roldeuren, isolatie en sandwichpanelen zijn gedemonteerd en ontdaan



Figuur 26: Circulaire sloop in Goirle

Overgenomen uit: *Textielfabriek Havep maakt plaats voor woonwijk* door Gubbels, 2023. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://gubbels.nl/projecten/textielfabriek-havep-maakt-plaats-voor-woonwijk->). Copyright 2022, Gubbels.

van spijkers, bouten en schroeven. De complete loodsen zijn gedemonteerd en vervolgens op dezelfde manier weer opgebouwd bij een nieuwe klant. Daarnaast werden de gebouwen ontdaan van asbest, gesloopt, gebroken en afgevoerd. Bodemverontreinigingen zijn gesaneerd en het hele perceel is opgehoogd en in een schone staat achtergelaten, gereed om in de toekomst te worden ontwikkeld als een woonwijk. Een veelzijdig project waarin zowel hergebruik als milieubescherming centraal stonden. (Gubbels, 2022)

1.7 Hergebruiken

Cementsteen recycling (D)

Het Nederlandse familiebedrijf Rutte Groep heeft een machine ontwikkeld waarmee beton volledig gerecycled kan worden, waardoor een aanzienlijk deel van het cement voor hergebruik beschikbaar komt.



Figuur 27: Slim breken door Rutte Groep
 Overgenomen uit: *We kunnen beton geheel recycleren tot nieuw beton* door Link magazine, 2019. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://linkmagazine.nl/we-kunnen-beton-geheel-recyclen-tot-nieuw-beton/?v=796834e7a283>)
 Copyright 2019, Link magazine.

Dit vertegenwoordigt een belangrijke stap in het verminderen van de CO₂-uitstoot in de bouwsector. De Smart Liberator kan beton volledig afbreken tot grondstoffen die opnieuw gebruikt kunnen worden in de productie van nieuw beton. De machine draait in een loods op een bedrijventerrein in Zaandam en wordt voorzien van stroom door zonnepanelen op het dak. De ontwikkeling van de Smart Liberator was een uitdaging die jaren in beslag nam, maar Rutte was vastbesloten om deze weg in te slaan en door te zetten om een aanzienlijke bijdrage te leveren aan CO₂-reductie in de betonketen. (Link magazine, 2019) (Betonhuis, 2021d)

Herbestemmen en renoveren (D)

Het voormalige gebouw van de faculteit Aardwetenschappen aan de Universiteit Utrecht (UU) was aanvankelijk gepland voor sloop na asbestsanering. Echter, tijdens de ontmanteling werd duidelijk dat het betonnen skelet in uitstekende staat verkeerde. Dit leidde tot een wijziging in de plannen, waarbij het bestaande betonnen casco als basis dient voor een nieuw gebouw, dat zelfs drie extra verdiepingen zal hebben. Deze aanpak is niet alleen duurzaam en circulair, maar heeft ook een positief effect op de omgeving. Een stedenbouwkundige merkte op dat het behouden van het bestaande gebouw een speelser karakter aan de omgeving geeft. Als het gebouw was gesloopt en vervangen door een nieuw pand, zou dit ergens anders op het terrein zijn geweest. Het ontwerp van het oorspronkelijke vier verdiepingen tellende gebouw, dat nu gedeeltelijk behouden blijft, dateert uit het einde van de jaren zestig. Toen het gebouw drie jaar geleden zijn functie verloor, begon de universiteit met asbestsanering, waarbij bleek dat er aanzienlijke hoeveelheden asbest aanwezig waren. Op dat moment waren er nog geen plannen voor herontwikkeling,



Figuur 28: Hergebruik betonnen casco
 Overgenomen uit: *Lopende projecten in het Utrecht Science Park* door Universiteit Utrecht, 2023. Geraadpleegd op 6 november 2023, van: (<https://www.uu.nl/organisatie/campus-development/marktverkenning-ontwikkeling-transitiegebouw>).
 Copyright 2023, Universiteit Utrecht.

en het was moeilijk om een beeld te krijgen van de kwaliteit van het betonnen casco vanwege de aanwezigheid van asbest en de beperkte toegang tot delen van het gebouw. Bovendien was het vijf jaar geleden nog niet gebruikelijk om gebouwen te herontwikkelen. In de tussentijd waren de ambities van de universiteit verschoven naar meer milieuvriendelijke, duurzame en klimaat-adaptieve doelen. Toen het gebouw grotendeels was gestript, bracht uitvoerend projectleider Kevin Dijke Hamster naar het pand. Hier ontdekten ze dat het gestorte beton

in uitstekende staat verkeerde. Dit leidde onmiddellijk tot het idee om het gebouw te behouden en te transformeren in plaats van te slopen (Jansen, 2023). Als gevolg daarvan werden drie afzonderlijke onderzoeken uitgevoerd om de haalbaarheid van het project te bevestigen. Ten eerste werd ABT ingeschakeld om de draagkracht van het casco te onderzoeken, met inbegrip van de mogelijkheid om extra verdiepingen toe te voegen. Het bleek dat het beton sterker was geworden sinds de oorspronkelijke bouw, omdat het verder was uitgehard. Daarnaast werden een architect en een stedenbouwkundige betrokken om te evalueren of het project in het grotere concept van het terrein paste en of het functionele netto vloeroppervlak van 12.000 vierkante meter kon worden gehaald. Alle drie de onderzoeken leverden positieve resultaten op, wat leidde tot het voorleggen van het plan aan verschillende afdelingen binnen de universiteit. Het gezamenlijke werk van deze professionals heeft bijgedragen aan het succesvol realiseren van dit project. (Jansen, 2023) (Universiteit Utrecht, 2023)

2. Bijlage – Tabel maatregellijst

Op de volgende pagina is een uitgebreide tabel opgenomen met alle maatregelen uit de maatregellijst. In deze lijst is niet alleen de maatregel en de bijbehorende LCA-fase opgenomen, maar ook op welk niveau de maatregel zich bevindt op zowel de R-ladder (circulariteit) als het bouwwaarde model. Daarnaast is het functioneel niveau, de initiatiefnemer, het doel, en het toepassingsgebied (betonmortel/ongewapend/niet-constructief, gewapend/constructief gewapend, vloeren/constructief gewapend, overig) weergegeven. In het geval van innovaties is het TRL-niveau aangegeven, deze schaal van 1 t/m 9 geeft aan hoe ver een innovatie doorontwikkeld is. Als laatste is de beschikbaarheid in de markt van de komende 10 jaar weergegeven. Rood betekent in dit geval niet beschikbaar, geel betekent beschikbaar en groen betekent 100% beschikbaar.

3. Bijlage – Multi Criteria Analyse

Op de volgende pagina de Multi Criteria Analyse (MCA) opgenomen. Hierin zijn alle voorgestelde maatregelen uit de maatregellijst verwerkt en beoordeeld aan de hand van diverse criteria over de verschillende periodes in de markt van de komende 10 jaar. De criteria zijn als volgt: invloed van Van der Ven, CO₂-reductiepotentieel, beschikbaarheid in Nederland (per periode: 2024 - 2025, 2025 - 2030 en 2030 >), hoeveelheid toepassingsgebieden en de raakvlakken met veiligheid, kosten (investeringen), bouwtijd, constructieve eigenschappen, verwerkbaarheid, weersomstandigheden, wet- en regelgeving, circulariteit, arbeid en de beschikbaarheid van kennis en technici.

Aan elk criteria is een schaal en een gewicht gekoppeld, afhankelijk van het belang van het criteria. Het criteria "Invloed van Van der Ven" heeft het hoogste gewicht met 7, aangezien de invloed van essentieel belang is voor de implementatie van de voorgestelde maatregelen. Vervolgens heeft het criterium 'Beschikbaarheid per periode in Nederland' het hoogste gewicht met 5. Dit komt doordat gedurende elke periode moet worden beoordeeld welke maatregelen beschikbaar zijn voor implementatie, afhankelijk van de ontwikkeling van innovaties. Het CO₂-reductiepotentieel heeft een gewicht van 4 en de toepassingsgebieden een gewicht van 3. Als laatste hebben de raakvlakken elk een gewicht van 0,5. Aan elke schaal is vervolgens weer een kleur gekoppeld die voor een aantal punten staat, deze staan uitgebreid beschreven onder de MCA tabel.

De scores zijn vervolgens bij elkaar opgeteld en zo is per periode een voorkeursvolgorde ontstaan voor de te implementeren maatregelen. De tabel in **bijlage 5** van het hoofddocument toont de 15 voorkeursmaatregelen per periode, afgeleid van de MCA. Ook is voor elke doelstelling de bijbehorende voorkeursmaatregel vermeld.

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: CCS in Brevik	2
Figuur 2: Catch4Climate in Mergelsetten.....	2
Figuur 3: LEILAC 1 in Lixhe	3
Figuur 4: Porthos Rotterdam	3
Figuur 5: Baggeren op elektriciteit.....	4
Figuur 6: Duurzame grondstoffenwinning	4
Figuur 7: Natuurgebied ENCI groeve.....	5
Figuur 8: Zero Emissions Services	5
Figuur 9: Binnenvaartschip op waterstof.....	6
Figuur 10: Elektrische truckmixer van Kijlstra	6
Figuur 11: Elektrische betonpomp voor Faber	7
Figuur 12: De e-CO2tainer van Mobilis.....	7
Figuur 13: Elektrische bouwkraan	8
Figuur 14: TERNOCEM	8
Figuur 15: Solidia cement	8
Figuur 16: Wand van gecalcineerde klei	9
Figuur 17: Stort geopolymeerbeton vloer.....	9
Figuur 18: Groene casco van Voorbij Prefab.....	9
Figuur 19: Bank bestaande uit bio-beton.....	10
Figuur 20: Toepassing versnellers in beton	10
Figuur 21: Bluswaterbassin met zelf helend beton	10
Figuur 22: Recyclingmachine	11
Figuur 23: Carbstone technologie.....	11
Figuur 24: 3D geprinte fietsbrug.....	12
Figuur 25: Remontabele principedetails VBI.....	12
Figuur 26: Circulaire sloop in Goirle.....	12
Figuur 27: Slim breken door Rutte Groep.....	13
Figuur 28: Hergebruik betonnen casco.	13

Tabellijst

Tabel 1: Tabel maatregellijst	16
Tabel 2: Multi Criteria Analyse.....	18

Literatuurlijst

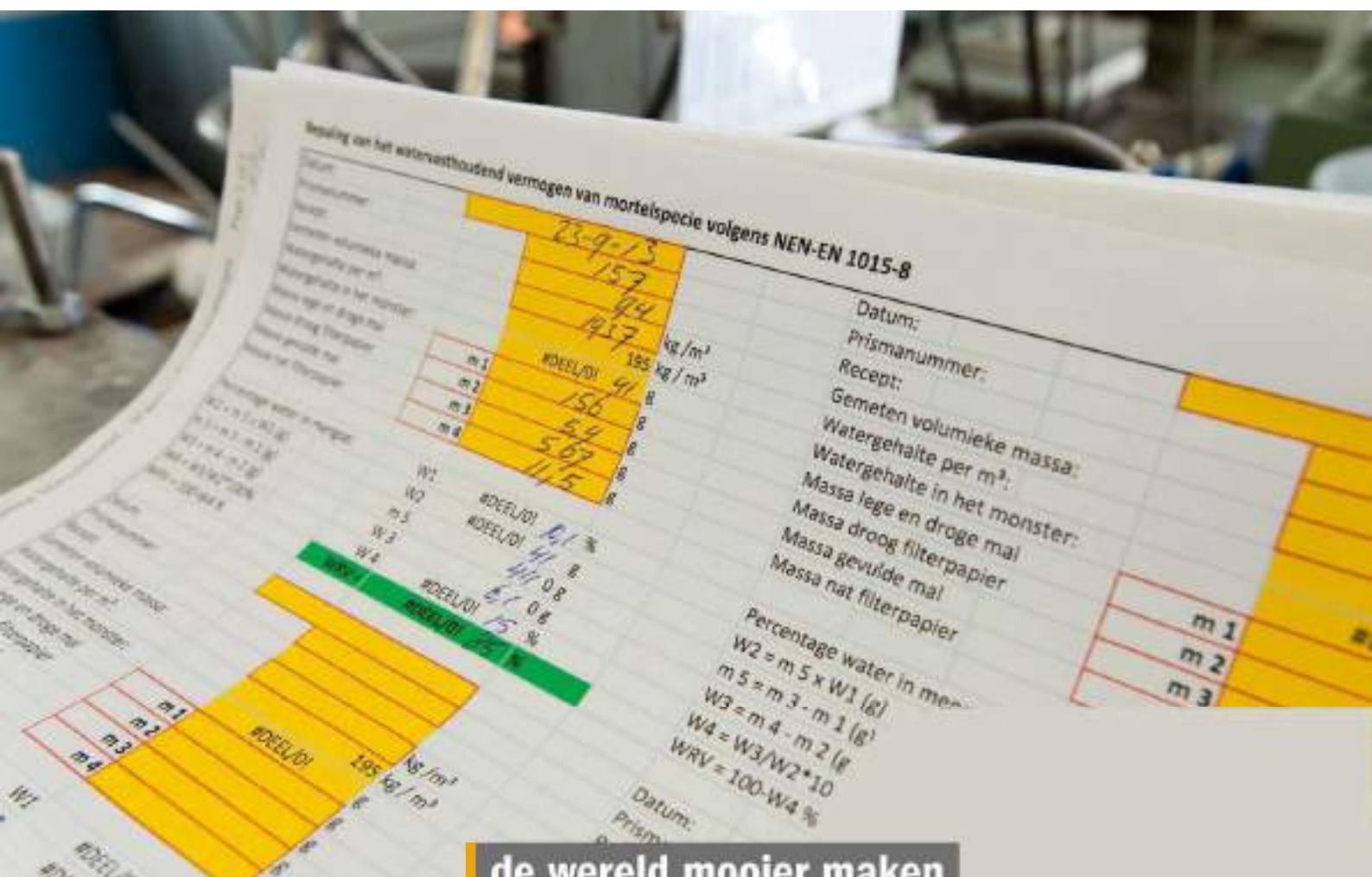
- ▶ Aanen, H. (2023). *Communicatie*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Alle kids op reis. (2023, 25 oktober). *Bijzondere wandeling – Rondje Enci-groeve in Maastricht (4 km.)*. Opgeroepen op 27 oktober, 2023, van Alle kids op reis: <https://alleskidsopreis.nl/wandeling-enci-groeve/>
- ▶ ANP. (2023, 25 mei). *Eerste emissieloze binnenvaartschip op waterstof in de vaart. de Ondernemer*. Opgeroepen op 26 oktober, 2023, van De ondernemer: <https://www.deondernemer.nl/actueel/eerste-emissieloze-binnenvaartschip-op-waterstof-in-de-vaart~4537512?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- ▶ Basilisk. (2017). *Bluswaterbassin Havenbedrijf Rotterdam*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Basilisk: <https://basiliskconcrete.com/portfolio-items/bluswaterbassin-havenbedrijf-rotterdam/>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021a). *Webinar 11 - Solida en Ternocem, nieuwe cementsoorten brengen uitstoot van CO2 omlaag* [Film]. Opgeroepen op 19 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=bmy284NYrRY>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021b). *Webinar 9 - Vergroening en verlaging van het energieverbruik tijdens het transport* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=TwRN_d5ePZM
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021c). *Webinar 7 - Vulstoffen en optimale korrelpakking* [Film]. Opgeroepen op 19 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=9JJhNVG8zY0&t=2291s>
- ▶ Betonhuis (Regisseur). (2021d). *Webinar 5 - Nieuwe recyclingmethoden voor beton* [Film]. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=d67a0q8UtRw>
- ▶ Betonmortelcentrale Gorkum. (sd). *Betonmortel en CO2 emissie*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Betonmortelcentrale Gorkum: <https://bcgorkum.nl/co2-emissie/>
- ▶ BLVC. (2020, 2 september). *Wereldprimeur: de eerste elektrische betonmixer*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van BLVC: <https://blvc.nl/2020/09/02/wereldprimeur-de-eerste-elektrische-betonmixer/>
- ▶ Bulten Bouwmaterieel. (2023, 10 oktober). *Bouwkraan op rupsonderstel voor Augustinus B.V.* Opgeroepen op 6 november, 2023, van Bulten materieel: <https://www.bultenmaterieel.nl/nieuws/bouwkraan-op-rupsonderstel-voor-augustinus-b-v>
- ▶ Catch4climate. (2021). *Unser Projekt: Mit catch4climate CO2 abscheiden und nutzbar machen*. Opgeroepen op 20 oktober, 2023, van Catch4climate: <https://catch4climate.com/#projekt>
- ▶ Dekker groep. (2021, 21 september). *Een van Europa's grootste drijvende zandfabrieken op groene stroom*. Opgeroepen op 22 oktober, 2023, van Dekker groep: <https://www.dekkgroep.nl/actueel/pers/-2432-een-van-europas-grootste-drijvende-zandfabrieken-op-groene-stroom/>
- ▶ Dekker groep. (2022, 1 november). *Dekker legt 3 kilometer stroomkabel aan voor duurzame winning*. Opgeroepen op 22 oktober, 2023, van Dekker groep: <https://www.dekkgroep.nl/actueel/nieuws/-2670-dekker-legt-3-kilometer-stroomkabel-aan-voor-duurzame-winning/>
- ▶ ENCI. (2018). *Eerste beton met Ternocem®*. Answers, pp. 4-5. Opgeroepen op 30 oktober, 2023, van ENCI: https://www.enci.nl/sites/default/files/assets/document/bf/8a/answers_44-enci.pdf
- ▶ Faber. (2022, 11 september). *Eerste elektrische betonpomp in Europa staat bij Faber Betonpompen*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Betonhuis: <https://betonhuis.nl/betonmortel/eerste-elektrische-betonpomp-europa-staat-bij-faber-betonpompen>

- ▶ Gubbels. (2022). *Textielfabriek Havep maakt plaats voor woonwijk*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Gubbels: <https://gubbels.nl/projecten/textielfabriek-havep-maakt-plaats-voor-woonwijk->
- ▶ Heidelberg Cement Benelux. (sd). *Afvang en opslag van koolstof*. Opgeroepen op 20 oktober, 2023, van Heidelberg Cement: <https://www.heidelbergcement.be/nl/afvang-en-opslag-van-koolstof>
- ▶ Heidelberg materials. (sd). *Brevik CCS - World's first CO2-capture facility at a cement plant*. Opgeroepen op 20 oktober, 2023, van Brevik CCS: <https://www.brevikccs.com/en>
- ▶ Jansen, K. (2023, 25 augustus). *Betonnen casco van pand Universiteit Utrecht geschikt voor nieuwbouw*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Betonhuis: <https://betonhuis.nl/betonmortel/betonnen-casco-van-pand-universiteit-utrecht-geschikt-voor-nieuwbouw>
- ▶ Link magazine. (2019, 19 oktober). *We kunnen beton geheel recyclen tot nieuw beton*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Link magazine: <https://linkmagazine.nl/we-kunnen-beton-geheel-recyclen-tot-nieuw-beton/?v=796834e7a283>
- ▶ Loonen, N. (2023). *Realisatie monoliete geopolymeervloer*. Opgeroepen op 30 november, 2023, van LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/nikiloonen/recent-activity/all/>
- ▶ Masterbloc. (sd). *Carbstone, circulaire bouwblokken zonder cement*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Masterbloc: <https://www.masterbloc.be/assortiment/carbstone-circulaire-bouwblokken/>
- ▶ Mol, J. (2022, 13 juni). *e-CO2tainer zorgt voor onafhankelijkheid bij project A16 Rotterdam*. Duurzame stroom op iedere gewenste plek. *Bouwmat*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Bouwmat: <https://www.bouwmat-online.nl/artikel/e-co2tainer-zorgt-voor-onafhankelijkheid-bij-project-a16-rotterdam-duurzame-stroom-op-iedere-gewenste-plek/>
- ▶ Porthos. (2023). *Project*. Opgeroepen op 20 oktober, 2023, van Porthos CO2: <https://www.porthosco2.nl/project/>
- ▶ Staal, D. (2023). *Daar staan we dan, apentrots te zijn voor ons wandje van gecalcineerde klei*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/dorienstaal/recent-activity/all/>
- ▶ Tissink, A. (2020, 1 september). *Kijlstra levert mortel met elektrische betonmixer compleet stikstofvrij af*. *Cobouw*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van <https://www.cobouw.nl/287691/kijlstra-levert-mortel-met-elektrische-betonmixer-compleet-stikstofvrij-af>
- ▶ Universiteit Utrecht. (2023). *Lopende projecten in het Utrecht Science Park*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Universiteit Utrecht: <https://www.uu.nl/organisatie/campus-development/marktverkenning-ontwikkeling-transitiegebouw>
- ▶ VBI. (2023). *Principedetails*. Opgeroepen op 8 november, 2023, van VBI: https://vbi.nl/wp-content/uploads/PDRB01-001-Principedetails_remontabel_bouwen.pdf
- ▶ Vibers. (2019). *Vibers bio beton bank*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Vibers: https://vibers.nl/wp-content/uploads/2019/11/VibersFlyer_BioBeton_BPD-1.pdf
- ▶ Visit Zuid-Limburg. (sd). *ENCI-groeve Maastricht*. Opgeroepen op 24 oktober, 2023, van Visit Zuid-Limburg: <https://www.visitzuidlimburg.nl/te-doen-in-zuid-limburg/attracties-bezienswaardigheden/detail/enci-groeve-maastricht/65320/>
- ▶ Vito. (2020, 24 september). *Voor het eerst een voetpad aangelegd met carbstone klinkers*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Vito: <https://vito.be/nl/nieuws/voor-het-eerst-voetpad-aangelegd-met-carbstone-klinkers>
- ▶ Voorbij Prefab. (2020). *Het Groene Voorbij Casco*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van Voorbij Prefab: <https://www.voorbijprefab.nl/wat-we-doen/duurzaam>
- ▶ Weber Saint-Gobain. (2021). *Bicycle bridge, Nijmegen*. Opgeroepen op 6 november, 2023, van 3D weber: <https://www.3d.weber/bicycle-bridge-nijmegen/>

- ▶ Zero Emission Services. (sd). *Zero Emission Services: all-inn concept voor emissievrije binnenvaart.*
Opgeroepen op 26 oktober, 2023, van Zero Emission Services: <https://zeroemissionservices.nl/>

Registratie- en monitoringstool

Tool voor registratie en monitoring van de CO₂-uitstoot in de betonketen
Bijlageboekje 4 (beroepsproduct C6)



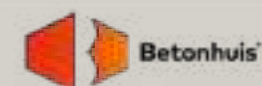
Inhoud

1. Inleiding	3
2. Registratie- en monitoringstool	4
Tabel- en figuurlijst	24
Figuurlijst	24
Tabellijst	24
Literatuurlijst	25

1. Inleiding

Dit document is het beroepsproduct: "Registratie- en monitoringstool CO₂-uitstoot in de betonketen" ten behoeve van de scriptie: "CO₂-reductie in de betonketen" opgenomen. Meer informatie over de tool is opgenomen in het eerste tabblad van de tool. Tevens is er een werkinstructie opgenomen in **bijlageboekje 5** van het implementatieplan.

Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen



Inhoud sheets

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Info | Deze pagina bevat essentiële informatie over het correct invullen van de registratie- en monitoringstool. |
| 2. Stortplan insitu* | Invulpagina deel 1 in het geval van het insitu storten van beton op de bouwplaats, gekoppeld aan het stortplan. In te vullen door de werkvoorbereider. |
| 3. Stortformulier insitu* | Invulpagina deel 2 in het geval van het insitu storten van beton op de bouwplaats, gekoppeld aan het stortformulier. In te vullen door de uitvoerder. |
| 4. Formulier prefab* | Invulpagina in het geval van het gebruik van prefab betonnen elementen op de bouwplaats, in te vullen door de werkvoorbereider (LCA A1-A3) en de uitvoerder (LCA A4+A5). |
| 5. Output (dashboard) | De resultaten pagina, hier vind u de resultaten van de CO2-uitstoot van het beton na berekening incl. grafieken en diagrammen. |
| 6. Totaal | Invulpagina voor de totale CO2-uitstoot per jaar. Na elke toepassing met beton dient de hoeveelheid beton en de bijbehorende (berekende) CO2-uitstoot onder het juiste project te worden ingevuld. Met behulp van diagrammen en grafieken worden de ingevulde gegevens weergegeven. Ook zijn er vergelijkingsgrafieken t.o.v. voorgaande jaren en de gemiddelde CO2-uitstoot beschikbaar. |
| 7. Inputmodellen:* | Inputmodellen waarin alle CO2-uitstootgegevens worden doorgerekend. Deze dienen alleen ingevuld te worden wanneer u gebruik maakt van de versie zonder koppeling met tab 2, 3 en 4. |
| a. Input - Betonmengsel (A1-A3) | Invulpagina waarin alle gegevens m.b.t. het betonmengsel (insitu) moeten worden ingevuld voor LCA fase A1 t/m A3. |
| b. Input - Prefab mengsel (A1-A3) | Invulpagina waarin alle gegevens m.b.t. het prefab betonmengsel moeten worden ingevuld voor LCA fase A1 t/m A3. |
| c. Input - Prefab (A1 - A3) | Invulpagina waarin alle gegevens m.b.t. het prefab element moeten worden ingevuld voor LCA fase A1 t/m A3. |
| d. Input - Transport (A4) | Invulpagina waarin alle gegevens m.b.t. het transport moeten worden ingevuld voor LCA fase A4. |
| e. Input - Bouwplaats (A5) | Invulpagina waarin alle gegevens m.b.t. de bouwplaats moeten worden ingevuld voor LCA fase A5. |
| f. Input - Sloop, Hergebruik (C+D) | Invulpagina waarin alle gegevens m.b.t. de sloop- en hergebruikfase moeten worden ingevuld voor LCA fase C en D. |
| 8. Data | Deze pagina bevat alle datasets uit de milieuprofielen van de © Groen beton tool v6, Betonhuis (deze moeten regelmatig geupdated worden). |

Opgesteld door: Hester Aanen
Versie: 1.0
Datum versie: 24-11-2023

© Groen beton tool v6, Betonhuis



*LET OP:

Welke variant	Welke sheets in te vullen:		Welke fase berekend?	Tabkleuren
- Zonder koppeling keuringsplan	Insitu: 6, 7a, 7d t/m f	Prefab: 6, 7b t/m f	LCA fase A t/m D	Geel voor insitu, blauw voor prefab, groen voor beide (rood is beveiligd)
- Met koppeling keuringsplan	Insitu: 2, 3, 6	Prefab: 4, 6	LCA fase A1 t/m A5 (C+D optioneel)	Groen (rood is beveiligd)

Waarom is deze tool?

Het berekenen van de CO2-uitstoot is een complex proces, omdat deze geheel afhankelijk is van de mengselsamenstelling van het beton en de bewerkingen die ervoor benodigd zijn. Daarnaast kost het voor aannemersbedrijven veel tijd om deze CO2-uitstoot te berekenen. Door de gegevens uit de Groen Beton tool van het Betonhuis te koppelen aan de al verplicht in te vullen keuringsformulieren voor beton kan dit proces eenvoudiger gemaakt worden waardoor het maar weinig extra tijd kost. Deze tool biedt de basis voor reductie van CO2 in de betonketen.

Definitie van de CO2 footprint

Met de CO2 footprint wordt de totale hoeveelheid broeikas emissie van een bedrijf/instelling/persoon per jaar berekend in kilos CO2. De CO2 emissies worden ingedeeld in drie scopes, in deze tool worden de scope 3 emissies berekend, omdat in de emissies van scope 1 en 2 al inzicht is.

Instructies

Deze tool is gebaseerd op de levenscyclusanalyse van een product, ook wel de wieg tot graf analyse genoemd. Dit is een methode om de totale milieubelasting te bepalen van een product (beton) gedurende de hele levenscyclus, dat wil zeggen: winning van de benodigde grondstoffen t/m afvalverwerking of hergebruik. De opbouw van de levenscyclusanalyse is hiernaast weergegeven.

Alle cellen met deze kleur dienen ingevuld te worden voor de CO2-uitstoot
Alle cellen met deze kleur worden automatisch uitgerekend

Wanneer u op een lichtgrijze cel gaat staan wordt er een invoerbericht weergegeven waarin vermeld staat wat u moet doen.

Bij keuzemogelijkheden wordt er een drop-down menu weergegeven. Wanneer uw keuze hier niet in is opgenomen wordt aangeraden de mogelijkheid te kiezen die het dichtst bij uw voorkeurskeuze ligt.

Er is dus een mogelijkheid om in deze tool één betonmengsel (insitu) en één betonproduct (prefab) in te vullen. Als alle gevraagde gegevens zijn ingevuld wordt in de sheet: "Output (dashboard)" de resultaten weergegeven na berekening, inclusief grafieken en diagrammen:

- LCA betonmortel en betonproduct totaal (LCA fase A t/m D)
- Een vergelijking met het gemiddelde betonmengsel uit de ketenanalyse van betonmortel en een betonproduct
- Gedetailleerde gegevens per relevante LCA fase (incl. samenvattingen en vergelijkingen tussen prefab en mortel)

Als laatste stap moet de totale CO2-uitstoot uit het output (dashboard) worden overgenomen in de totaal sheet onder het juiste project met de bijbehorende hoeveelheid beton [m3].



Achtergrondinformatie voor sheet 7f: Sloop, hergebruik (fase C+D)

- De sloop- en hergebruik fase is niet meegenomen in de koppeling met de keuringsformulieren omdat het scenario in de uitvoeringsfase nog onbekend is. In het output dashboard wordt het meest voorkomende scenario doorgerekend.
- In fase C+D is alleen afvalverwerking en hergebruik opgenomen van beton en wapeningsstaal.
- Er zijn twee scenario's voor afval / hergebruik opgenomen:
 1. *geen* C2-C4/D voor beton (CO2 uitstoot is dan 0)
 2. C2-C4/D betongranulaat als vervanging voor grind in wegfundering (95%), in nieuw beton (4%) en stort (1%)
- Staal is 100% recyclebaar



In het output (dashboard) worden er in de totale LCA tabellen (fase A t/m D) een kleur toegekend op basis van de doelstelling en ambitie van dit afstudeeronderzoek.

- Rood = gelijkwaardige of hogere CO2-uitstoot t.o.v. het gemiddelde betonmengsel / product met wapening (0% reductie)
- Geel = 20% reductie van de CO2-uitstoot t.o.v. het gemiddelde betonmengsel / product met wapening (= doelstelling)
- Groen = > 40% reductie van de CO2-uitstoot t.o.v. het gemiddelde betonmengsel / product met wapening (= ambitie)

Tabel 2
Stortplan insitu

Stortplan				
Project	:			
Projectnummer	:			
Datum	:			
Bijlage bij werkplan	:			
Onderdeel	:			
Informatie	Korte titel	Bestandsnaam	Link	
Ondergrond				
Type	:			
Verdichting	:			
Peil	:	Tolerantie +/- 5 mm		
Hygienische beperkingen	:	Geen vervuiling aanwezig		
Werkvloer		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
Type	:	n.v.t.	0 n.v.t.	0
Druksterkte	:			
Dikte	:			
Vloerisolatie		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
Type	:	n.v.t.	0 n.v.t.	0
Product	:			
Dikte	:			
Bekisting		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
Type / materiaal	:	Multiplex	4 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	57
Zichtwerk	:			
Klasse	:			
Berekening	:			
Tekening	:			
Type centerpenen	:			
Stortfasering				
Stortonderbrekingen	:			
Tekening	:			
Centermaterialen				
Type	:			
Waterkerend	:			
Conussen	:			
Conusgatafwerking	:			
Wapening en afstandhouders		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
Onderwapening	:	Wapeningsstaal	5 Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, ongemixte HVO	45
Dekking [mm]	:			
Type afstandhouder	:	Afstandhouders (pp)	0,04 n.v.t.	0
Aantal/m2	:			
Zichtwerk	:			
Flankwapening	:	n.v.t.	0 n.v.t.	0
Dekking [mm]	:			
Type afstandhouder	:	n.v.t.	0 n.v.t.	0
Aantal/m2	:			
Zichtwerk	:			
In te storten voorzieningen		Levering	Aanbrengen	
Kimafdichting	:			
Sparingen	:			
Ankers	:			
Aarding	:			
Kabeldoorvoeren	:			
Betonsamenstelling				
Cement	:			
Milieuklasse	:			
Sterkteklasse	:			
Stortmethode	:			
Consistentiegebied	:			
Korrel diameter	:			
Volumieke massa, wanneer LCA ontvangen [kg /m3]	:	0		
Hoeveelheid [m3]	:	13,5		
LCA (A1-A3), wanneer ontvangen [kg CO2/m3 beton]	:	0	→ Als de LCA waarde ontvangen is hoeft onderstaand niet ingevuld worden	
Betonsamenstelling nader gespecificeerd (LCA A1 - A3)		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
1.	Bindmiddelen	CEM I 42.5 N (G1), ENCI / HeidelbergCement	80 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	186
2.		Eco2cem (pure hoogovenslak)	235 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	150
3.		n.v.t.	0 n.v.t.	0
1.	Toeslagmaterialen	Grind (BE)	1017 Binnenvaartschip	80
2.		Brekerzand (primaair)	790 Binnenvaartschip	42
3.		Betongranulaat, 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		Standaard energieverbruik betoncentrale [per m3 beton] wordt hier aangehouden		
Water	:	Leidingwater	165	n.v.t.
Oppervlaktebehandeling		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
Oppervlaktebehandeling	:	Curing compound	0,3 n.v.t.	0
Zichtvlakken/vloeroppervlak	:			
Stortnaden	:			
Ontkisten		Hoeveelheid [kg/m3]	Transport	Transportafstand (km)
Ontkistingsmiddel	:	n.v.t.	0 n.v.t.	0
Dragende bekisting, $f_{cm,j} \geq$:			
Niet dragende bekisting, $f_{cm,j} \geq$:			
Randkist na 1 dag				
Betoncentrale				
Leverancier	:			
Contactpersoon	:			
Laborant	:			
Productcertificaat	:			
Afspraken drukproeven	:			
Overig	:			
Opgesteld door	:	Hester Aanen	Gecontroleerd door:	
Datum	:	22-11-2023	Datum:	

Opmerking: Aangepast overgenomen uit Keuringsplan beton door Van der Ven, sd, Brakel: Van der Ven. Geraadpleegd op 20 november 2023. Copyright, Van der Ven.



STORTFORMULIER			
Project :			
Projectnummer :			
Datum :			
Bijlage bij werkplan :			
Onderdeel :			
Technische gegevens			
Uitgangspunten :			
Datum :			
Controle voor het bekisten			
- Zandbed op hoogte	(\pm 2 cm, z)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Maatvoering: assen gecontroleerd		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Hoogte gesnelde palen 2 cm boven werkvloer		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Steklengte palen conform tekening		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
Controle voor het vlechten			
- Bekisting, maatvoering	(\pm 2 cm, x en y)	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Stortnaden gereinigd		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Bekisting schoon en voorzien van ontkistingsolie		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Afmetingen en positie sparings en voorzieningen gecontroleerd		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
Controle voor het storten			
- Wapening juiste hoeveelheid en plaats		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Dekking conform tekening		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Instortvoorzieningen (zie stortplan) op juiste plaats aangebracht		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Ankers; diameters en positie gecontroleerd		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Stekken; diameters en positie gecontroleerd		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Bekisting; centerpenen, oprijvoorzieningen en aansluitingen gecontroleerd		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
Opmerkingen :			
vrijgave door :	d.d.	Paraaf:	
Afroep			
Stortwijze:	<input type="checkbox"/> Pomp	<input type="checkbox"/> Kubel/kraan	<input type="checkbox"/> Goot <input type="checkbox"/> Anders, namelijk:
Sterkteklasse :			
Cement :			
Milieuklasse :			
Korrelgroep D/D _{max} :	<input type="checkbox"/> D8 (4,8 mm)	<input type="checkbox"/> D16 (4,16 mm)	<input type="checkbox"/> D32 (4,32 mm)
Consistentie :	<input type="checkbox"/> Aardvochtig (C1/F1/S1)	<input type="checkbox"/> Halfplastisch	<input type="checkbox"/> Plastisch <input type="checkbox"/> Zeer plastisch <input type="checkbox"/> Anders:
	C1/S1/F1	C2/S2/F2	C3/S3/F3 S4/F4
Volumieke massa [kg/m ³] :	2388	W/C-factor \leq : 0,52	Cementgehalte \geq : 315 kg/m ³
Prognose weerfase :	Droog* <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nee*		
Toevoegingen mengsel :			
Hoeveelheid :	13,5 m ³		
Stortsnelheid :	m ³ /uur		
Stijgsnelheid :	m ¹ /uur		
Aanvang stort :	uur		
Minimale nabehandeling in overleg met constructeur:	dgn		
Ontkisten :			
Stortverslag			
- Levering mengsel conform afroep (controle 1e bon)		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Overige gegevens stort, afwerking en nabehandeling:			
	Aanvang	Einde	Temperatuur
Stort :	uur	uur	°C
Afwerking :	uur	uur	°C
Nabehandeling :	uur	uur	°C gem.
			Neerslag <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nee
			Neerslag <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nee
Transport, bouwplaatsprocessen en energie & brandstof			
		Hoeveelheid [hr/ritten]	Transport
1.	Transportmiddelen	n.v.t.	1 Truckmixer, 13,5 m ³
2.			0 n.v.t.
3.			0 n.v.t.
1.	Bouwplaatsprocessen [hr]	Betonpomp [m ³]	1 Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel
2.		Verdichten - met trilnaald [m ³]	1 n.v.t.
3.		n.v.t.	0 n.v.t.
1.	Energie & brandstof	Diesel [l]	0,2
2.		n.v.t.	0
3.		n.v.t.	0
Afwerking / nabehandeling van betonoppervlak			
- Schuren		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Vlinderen		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Instrooien	Toeslagmateriaal:	N.v.t. kg/m ²	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nee
- Harken/ruwen		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Afdekken		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Nat houden		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
- Aanbrengen curing compound		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee
Na ontkisten			
- Beton vrij van onvolkomenheden (grindnesten, vellingkanten braamvrij)		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
- Stortnaden schoongestraald/ontdaan van cementsluis (tussen 6 en 24 uur na het storten)		<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nee <input type="checkbox"/> nvt
Opmerkingen :			
ingevuld door :	d.d.	Paraaf:	

Tabel 5
Output dashboard

Dashbord CO2 uitstoot



LCA Betonmortel totaal (A1 t/m D)

Gegevenstabel		
Betonmortel	Totaal	Per m3
LCA GWP (kg CO2)		
A1-A3	1303,678	96,569
A4	2,736	0,203
A5	241,699	17,904
C1-C4	58,244	4,314
Waarvan:		
-C1	0,122	0,009
-C2	58,028	4,298
-C3	0,027	0,002
-C4	0,068	0,005
D	-134,880	-9,991
Totaal	1471,477	108,998

GWP (kg CO2) (excl. D)

GWP (kg CO2) (incl. D)

Vergelijking t.o.v. gemiddelde betonmengsel

Gegevenstabel		
Betonmortel	Gem. ZW	Gem. MW
LCA GWP (kg CO2)		
A1-A3	161,220	229,710
A4	11,520	12,960
A5	5,340	5,340
C1-C4	34,400	34,400
Waarvan:		
-C1	6,890	6,890
-C2	6,910	6,910
-C3	20,500	20,500
-C4	0,000	0,000
D	-7,910	-27,680
Totaal	170,170	254,730

LCA vergelijking t.o.v. gem. betonmengsel (kg CO2)

LCA Prefab betonproduct totaal (A1 t/m D)

Gegevenstabel		
Prefab product	Totaal	Per m3
LCA GWP (kg CO2)		
A1-A3	1417,563	105,005
A4	51,773	3,835
A5	257,422	19,068
C1-C4	4,330	58,460
Waarvan:		
-C1	0,122	0,009
-C2	58,244	4,314
-C3	0,027	0,002
-C4	0,068	0,005
D	-140,493	-10,407
Totaal	1590,595	175,961

GWP (kg CO2) (excl. D)

GWP (kg CO2) (incl. D)

Vergelijking t.o.v. gemiddelde betonproduct

Gegevenstabel		
Prefab product	Gem. ZW	Gem. MW
LCA GWP (kg CO2)		
A1-A3	251,590	299,180
A4	34,560	34,560
A5	2,100	2,100
C1-C4	34,400	34,400
Waarvan:		
-C1	6,890	6,890
-C2	6,910	6,910
-C3	20,500	20,500
-C4	0,000	0,000
D	-7,910	-27,680
Totaal	314,740	342,560

LCA vergelijking t.o.v. gem. betonproduct (kg CO2)

↓ Gedetailleerde gegevens per relevante LCA fase ↓

LCA fase A

LCA Betonmortel productie (A1-A2-A3)

Gegevenstabel		
Betonmortel	Per m3	
LCA GWP (kg CO2)		
Bindmiddelen	1.	76,712
Toeslagmaterialen	2.	13,611
Vul- hulp- en kleurstoffen	3.	2,314
Energie & brandstof	4.	3,763
Water	5.	0,168

Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen in bindmiddelen, toeslagmaterialen, vul-, hulp- en kleurstoffen, energie & brandstof en water, zie blad: **Input - Betonmengsel (A1-A3)**

LCA Fase A - Vergelijking

LCA Betonmortel bouwplaats (A5)

Gegevenstabel		
Betonmortel	Per m3	
LCA GWP (kg CO2)		
Wapening & staal	1.	5,650
Bekisting	2.	4,531
Processen bouwplaats	3.	6,853
Energie & brandstof	4.	0,651
Overige	5.	0,220

Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen in wapening & staal, bekisting, processen bouwplaats, energie & brandstof en overige, zie blad: **Input - Bouwplaats (A5)**

LCA Prefab betonproductie (A1-A2-A3)

Gegevenstabel		
Prefab product	Per m3	
LCA GWP (kg CO2)		
Betonmengsel	1.	213,393
Wapening & staal	2.	22,598
Bekisting	3.	0,000
Energie & brandstof	4.	0,220
Overige	5.	0,048

Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen in betonmengsel, wapening & staal, bekisting, energie & brandstof en overige, zie blad: **Input - Prefab (A1-A3)**

Samenvatting LCA fase A

LCA Prefab betonproduct bouwplaats (A5)

Gegevenstabel		
Prefab product	Per m3	
LCA GWP (kg CO2)		
Proces 1	42,904	
Proces 2	0,000	
Proces 3	0,000	

Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen in de processen, zie blad: **Input - Bouwplaats (A5)**

LCA fase C							
LCA Betonmortel sloop (C1 t/m C4)		Samenvatting LCA fase C		LCA Prefab betonproduct sloop (C1 t/m C4)			
Gegevenstabel		Diagram		Gegevenstabel			
Mortel	Per m3	<p>GWP (kg CO2)</p> <p>0% 100%</p> <p>■ C1 ■ C2 ■ C3 ■ C4</p>		<p>LCA fase C totaal (kg CO2/m3)</p> <p>■ Mortel ■ Prefab</p>		<p>Prefab product</p> <p>Per m3</p>	
LCA	GWP (kg CO2)					<p>Prefab product</p> <p>GWP (kg CO2)</p>	
C1	0,009					<p>C1</p> <p>0,009</p>	
C2	4,298					<p>C2</p> <p>4,314</p>	
C3	0,002					<p>C3</p> <p>0,002</p>	
C4	0,005	<p>C4</p> <p>0,005</p>					
Totaal	4,314	<p>Totaal</p> <p>4,330</p>					
<p>Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen in C1 t/m C4 (Sloop, transport, breken en stort), zie blad: Input - Sloop, Hergebruik (C + D)</p>		<p>Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen in C1 t/m C4 (Sloop, transport, breken en stort), zie blad: Input - Sloop, Hergebruik (C + D)</p>					
LCA transportfase (A2+A4+C2)							
LCA Betonmortel transport (A2+A4+C2)		Samenvatting transportfase		LCA Prefab betonproduct transport (A2+A4+C2)			
Gegevenstabel		Diagram		Gegevenstabel			
Mortel	Per m3	<p>GWP (kg CO2)</p> <p>2% 26% 69%</p> <p>■ A2 ■ A4 ■ C2</p>		<p>LCA transport (kg CO2/m3)</p> <p>■ Mortel ■ Prefab</p>		<p>Prefab product</p> <p>Per m3</p>	
LCA	GWP (kg CO2)					<p>Prefab product</p> <p>GWP (kg CO2)</p>	
A2	10,186					<p>A2</p> <p>8,539</p>	
A4	0,203					<p>A4</p> <p>3,835</p>	
C2	4,298					<p>C2</p> <p>4,314</p>	
Totaal	14,687	<p>Totaal</p> <p>16,688</p>					
<p>Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen van transport, zie bladen: Input - Betonmengsel (A1A3), Input - Prefab (A1-A3), Input - Transport (A4), en Input - Sloop, Hergebruik (C+D). Let op: wanneer LCA A1-A3 is ontvangen wordt er aan fase A2 geen waarde toegekend.</p>		<p>Voor gedetailleerde gegevens binnen de onderverdelingen van transport, zie bladen: Input - Betonmengsel (A1A3), Input - Prefab (A1-A3), Input - Transport (A4), en Input - Sloop, Hergebruik (C+D). Let op: wanneer LCA A1-A3 is ontvangen wordt er aan fase A2 geen waarde toegekend.</p>					

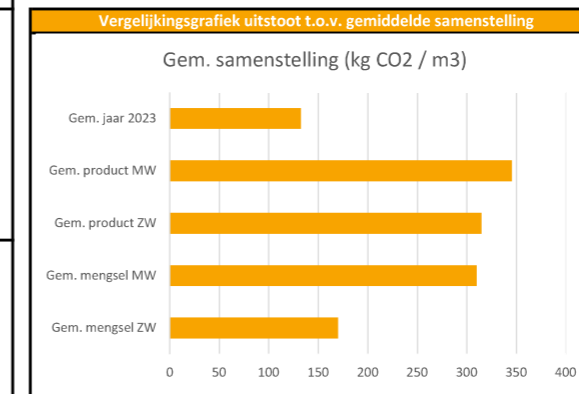
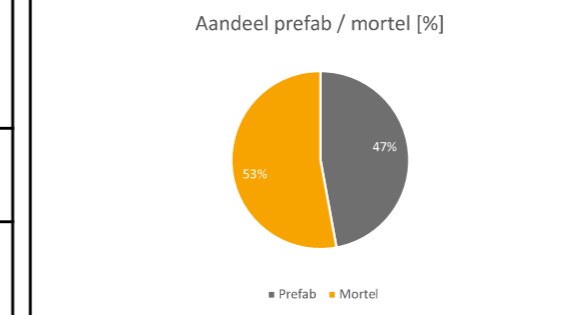
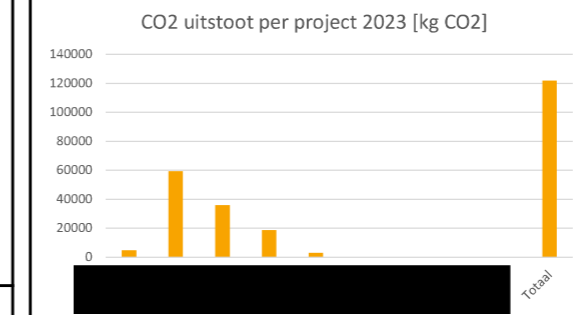
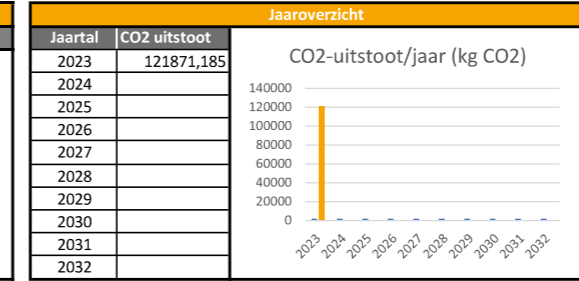
Tabel 6
Totaal

Overzicht totale CO2-uitstoot in de betonketen door Van der Ven 2023



Let op: Elk kalenderjaar een nieuw blad aanmaken!

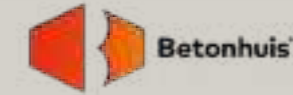
Nummer	Project	Mengsel / product	Onderdeel	Wat	Hoeveelheid [m3 beton]	CO2 uitstoot [kg/m3]	CO2 uitstoot [kg/totaal]	SUBTOTAAL PROJECT	
		Betonmengsels (insitu)	bijv. dekvloer werkplaats	In het werk gestorte vloer	33,5	145,11	4861,185	4861,185	
			bijv. wand as 5	In het werk gestorte wand			0		
		Prefab beton producten	bijv. riolering	bijv. putten en buizen					0
			bijv. verharding	bijv. bedrijfsvloerplaten					0
		Betonmengsels (insitu)	Vloer BG CQB-gebouw	In het werk gestorte vloer	20	160	3200		
			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		
			Kelderdak Energiegebouw	Breedplaatvloeren	30	220	6600		
		Betonmengsels (insitu)	Funderingsstroken	In het werk gestorte funderingsstroken	30	110	3300		
			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		
		Betonmengsels (insitu)							
		Prefab beton producten							
Betonmengsels (insitu)									
Prefab beton producten	Riolering	Putten en buizen	30	130	3900				
	Verharding	Bestrating	120	123	14760				
Betonmengsels (insitu)									
Prefab beton producten	Brug	Brug	20	150	3000				
Betonmengsels (insitu)									
Prefab beton producten									
Betonmengsels (insitu)									
Prefab beton producten									
Betonmengsels (insitu)									
Prefab beton producten									



	Prefab beton producten					0	0	
						0		
						0		
						0		
						0		
						0		
	Betonmengsels (insitu)					0		
						0		
						0		
	Prefab beton producten					0	0	
						0		
						0		
						0		
						0		
						0		
						0		
						0		
	Totaal							
			Hoeveelheid [m3]	920	CO2 uitstoot [totaal]	121871,185		
					Gemiddelde uitstoot [kg CO2 / m3]	132,4686793		

Tabel 7a
Input - betonmengsel (A1-A3)

Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen



Componenten betonmengsel toevoegen in kg per m3 beton, alleen de lichtgrijze cellen invullen!	Hoeveelheid [m3] beton:	13,500	Waterbindmiddelfactor:	0,524
Wanneer LCA (fase A1 t/m A3) ontvangen is, de waarde hiernaast invullen per m3 beton →	LCA (fase A1 t/m A3), wanneer ontvangen (kg CO2 / m3 beton):	0	Volumieke massa: [kg/m3]	2388,000
* Onderstaand blad hoeft dan niet meer ingevuld te worden	LCA totaal (fase A1 t/m A3), onderstaand berekend (kg CO2):	1303,678	LCA totaal (ontvangen) (kg CO2)	0

Betonmengsels (LCA fase A1 t/m A3)				CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Bind- middelen	Bindmiddel 1	Profiel	ENCI	CEM I 42.5 N (G1), ENCI / HeidelbergCement		
		Hoeveelheid [kg]	-		80	
		Percentage productieafval [%]	2		0,02	
		Transport bindmiddel	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
		Transportafstand [km]	-		186	
	Bindmiddel 2	Profiel	Ecocem	Eco2cem (pure hoogovenslak)		
		Hoeveelheid [kg]	-		235	
		Percentage productieafval [%]	5		0,05	
		Transport bindmiddel	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
		Transportafstand [km]	-		150	
	Bindmiddel 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-		0	
Percentage productieafval [%]		0		0		
Transport bindmiddel		n.v.t.	n.v.t.			
Transportafstand [km]		-		0		
Toeslag- materialen	Toeslagmateriaal 1	Profiel	Primair toeslagmateriaal grof	Grind (BE)		
		Hoeveelheid [kg]	-		1017	
		Percentage productieafval [%]	5		0,05	
		Transport toeslagmateriaal	Binnenvaartschip	Binnenvaartschip		
		Transportafstand [km]	-		80	
	Toeslagmateriaal 2	Profiel	Primair toeslagmateriaal fijn	Brekerzand (primair)		
		Hoeveelheid [kg]	-		790	
		Percentage productieafval [%]	5		0,05	
		Transport toeslagmateriaal	Binnenvaartschip	Binnenvaartschip		
		Transportafstand [km]	-		42	
	Toeslagmateriaal 3	Profiel	Secundair toeslagmateriaal grof	Betongranulaat, grof		
		Hoeveelheid [kg]	-		60	
Percentage productieafval [%]		5		0,05		
Transport toeslagmateriaal		Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
Transportafstand [km]		-		30		
Vul-, hulp & kleurstoffen	Vul-, hulp of kleurstof 1	Profiel	Vulstof	Kalksteenmeel (BE)		
		Hoeveelheid [kg]	-		40	
		Percentage productieafval [%]	10		0,1	
		Transport toeslagmateriaal	Binnenvaartschip	Binnenvaartschip		
		Transportafstand [km]	-		130	
	Vul-, hulp of kleurstof 2	Profiel	Hulpstof	Plastificeerder		
		Hoeveelheid [kg]	-		1	
		Percentage productieafval [%]	2		0,02	
		Transport toeslagmateriaal	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
		Transportafstand [km]	-		50	
	Vul-, hulp of kleurstof 3	Profiel	Kleurstof	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-		0	
Percentage productieafval [%]		2		0,02		
Transport toeslagmateriaal		Vrachtwagen	n.v.t.			
Transportafstand [km]		-				

		Transportafstand [km]	-	0	
Energie & brandstof	Standaard energieverbruik betoncentrale [per m3 beton], of: ↓	Profiel	Elektriciteit	-	
		Hoeveelheid [kWh]	-	3,63	
		Profiel	Diesel	-	
		Hoeveelheid [l]	-	0,12	
		Profiel	Aardgas	-	
		Hoeveelheid [m3]	-	0,013	
	Energie 1	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid	-	0	
	Energie 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid	-	0	
Energie 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
	Hoeveelheid	-	0		
Water	Water 1	Profiel	-	Leidingwater	
		Hoeveelheid	-	165	
		Percentage productieafval [%]	2	0,02	
	Water 2	Profiel	-	n.v.t.	
		Hoeveelheid	-	0	
		Percentage productieafval [%]	2	0,02	
				TOTAAL (kg CO2 / m3)	96,569

Tabel 7b
Input - prefab mengsel (A1-A3)

Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen



Componenten betonmengsel toevoegen in kg per m3 beton, alleen de lichtgrijze cellen invullen!

Waterbindmiddelfactor: 0,524

Wanneer LCA (fase A1 t/m A3) ontvangen is hoeft onderstaand blad niet ingevuld te worden

Volumieke massa: [kg/m3] 2388,000

Prefab betonmengsel (LCA fase A1 t/m A3)

CO2 uitstoot [per eenheid] CO2 uitstoot [totaal] SUBTOTAAL

Prefab betonmengsel (LCA fase A1 t/m A3)				CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Bind-middelen	Bindmiddel 1	Profiel	ENCI	CEM I 42.5 N (G1), ENCI / HeidelbergCement		
		Hoeveelheid [kg]	-		80	
		Percentage productieafval [%]	2		0,02	
		Transport bindmiddel	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
	Transportafstand [km]	-		186		
	Bindmiddel 2	Profiel	Ecocem	Eco2cem (pure hoogovenslak)		
		Hoeveelheid [kg]	-		235	
		Percentage productieafval [%]	5		0,05	
		Transport bindmiddel	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, ongemixte HVO		
	Transportafstand [km]	-		150		
	Bindmiddel 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-		0	
Percentage productieafval [%]		0		0		
Transport bindmiddel		n.v.t.	n.v.t.			
Transportafstand [km]	-		0			
Toeslag-materialen	Toeslagmateriaal 1	Profiel	Primair toeslagmateriaal grof	Grind (BE)		
		Hoeveelheid [kg]	-		1017	
		Percentage productieafval [%]	5		0,05	
		Transport toeslagmateriaal	Binnenvaartschip	Binnenvaartschip		
	Transportafstand [km]	-		80		
	Toeslagmateriaal 2	Profiel	Primair toeslagmateriaal fijn	Brekerzand (primair)		
		Hoeveelheid [kg]	-		790	
		Percentage productieafval [%]	5		0,05	
		Transport toeslagmateriaal	Binnenvaartschip	Binnenvaartschip		
	Transportafstand [km]	-		42		
	Toeslagmateriaal 3	Profiel	Secundair toeslagmateriaal grof	Betongranulaat, grof		
		Hoeveelheid [kg]	-		60	
Percentage productieafval [%]		5		0,05		
Transport toeslagmateriaal		Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
Transportafstand [km]	-		30			
Vul-, hulp & kleurstoffen	Vul-, hulp of kleurstof 1	Profiel	Vulstof	Kalksteenmeel (BE)		
		Hoeveelheid [kg]	-		40	
		Percentage productieafval [%]	10		0,1	
		Transport toeslagmateriaal	Binnenvaartschip	Binnenvaartschip		
	Transportafstand [km]	-		130		
	Vul-, hulp of kleurstof 2	Profiel	Hulpstof	Plastificeerder		
		Hoeveelheid [kg]	-		1	
		Percentage productieafval [%]	2		0,02	
		Transport toeslagmateriaal	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
	Transportafstand [km]	-		50		
	Vul-, hulp of kleurstof 3	Profiel	Kleurstof	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-		0	
Percentage productieafval [%]		2		0,02		
Transport toeslagmateriaal		Vrachtwagen	n.v.t.			
Transportafstand [km]	-		0			

Energie & brandstof	Standaard energieverbruik betoncentrale [per m3 beton], of: ↓	Profiel	Elektriciteit	-		
		Hoeveelheid [kWh]	-		3,63	
		Profiel	Diesel	-		
		Hoeveelheid [l]	-		0,12	
	Profiel	Aardgas	-			
	Hoeveelheid [m3]	-		0,013		
	Energie 1	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
	Hoeveelheid	-		0		
	Energie 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
	Hoeveelheid	-		0		
Energie 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.			
Hoeveelheid	-		0			
Water	Water 1	Profiel	-	Leidingwater		
		Hoeveelheid	-		165	
		Percentage productieafval [%]	2		0,02	
	Water 2	Profiel	-	n.v.t.		
		Hoeveelheid	-		0	
		Percentage productieafval [%]	2		0,02	
					TOTAAL (kg CO2 / m3)	94,841

Tabel 7c
input - prefab element (A1-A3)

Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen



Componenten betonmengsel toevoegen in kg per prefab element, alleen de lichtgrijze cellen invullen!	Hoeveelheid elementen [st]:	6	Waterbindmiddelfactor:	0,524
Wanneer LCA (fase A1 t/m A3) ontvangen is, de waarde hiernaast invullen per prefab element →	LCA (fase A1 t/m A3), wanneer ontvangen (kg CO2 / element):	0	Volumieke massa: [kg/m3]	2396,889
* Onderstaand blad hoeft dan niet meer ingevuld te worden	LCA totaal (fase A1 t/m A3), onderstaand berekend (kg CO2):	1417,563	LCA totaal (ontvangen) (kg CO2 / m3)	0

Prefab element (LCA fase A1 t/m A3)				CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Betonmengsel	Betonmengsel 1	Mengsel invullen in tabblad: "Input - Prefab mengsel (A1-A3), de factor per m3 beton wordt hiernaast overgenomen →				
		Hoeveelheid [m3/element]	-	2,25		
Wapening & staal	Wapening / staal 1	Profiel	Wapening	Wapeningsstaal		
		Hoeveelheid [kg]	-	20		
		Percentage productieafval [%]	2	0,02		
		Transport materiaal	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
		Transportafstand [km]	-	20		
	Wapening / staal 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-	0		
		Percentage productieafval [%]	0	0		
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.		
		Transportafstand [km]	-	0		
Bekisting	Bekisting 1	Profiel	Hout	Systeemkist		
		Hoeveelheid [kg]	-	0		
		Percentage productieafval [%]	10	0,1		
		Transport materiaal	Vrachtwagen	n.v.t.		
		Transportafstand [km]	-	0		
	Bekisting 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-	0		
		Percentage productieafval [%]	0	0		
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.		
		Transportafstand [km]	-	0		
Energie & brandstof	Energie 1	Profiel	Brandstof	Aardgas [m3]		
		Hoeveelheid	-	0,1		
	Energie 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid	-	0		
	Energie 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid	-	0		
Overige	Overige 1 <small>(in het geval van betonmortel hier invullen, dan wordt het meegerekend in de volumieke massa. Anders leeg laten en andere velden gebruiken)</small>	Profiel	Curing compound	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-	0		
		Percentage productieafval [%]	5	0,05		
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.		
		Transportafstand [km]	-	0		
	Overige 2	Profiel	Kunststof	Ontkistingsmiddel, olie		
		Hoeveelheid [kg]	-	0,1		
		Percentage productieafval [%]	2	0,02		
		Transport materiaal	n.v.t.	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel		
		Transportafstand [km]	-	0		
	Overige 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
		Hoeveelheid [kg]	-	0		
		Percentage productieafval [%]	0	0		
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.		
		Transportafstand [km]	-	0		
TOTAAL (kg CO2 / element)					236,260	

Tabel 7d
Input - transport (A4)

Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen



Alleen de lichtgrijze cellen invullen!



Hoeveelheid betonmortel [m3]:	13,5
Hoeveelheid prefab elementen [st]:	6

LCA per m3 beton		LCA totaal	
LCA (fase A4), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	0,203	LCA totaal (fase A4), betonmortel	2,736
LCA (fase A4), prefab element (kg CO2 / m3 beton):	3,835	LCA totaal (fase A4), prefab element	51,773

Transport betonmortel naar de bouwplaats (LCA fase A4)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL			
Transport-middelen	Transport 1 ... - -	Transport betonmortel	Truckmixer	Truckmixer, 13,5 m3	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]			
		Transportafstand enkel [km]		12				1		
	Transport 2 ... - -	Transport betonmortel	Truckmixer	n.v.t.				0	0	0
		Transportafstand enkel [km]		0							0
	Transport 3 ... - -	Transport betonmortel	n.v.t.	n.v.t.				0	0	0
		Transportafstand enkel [km]		0						

Transport prefab element naar de bouwplaats (LCA fase A4)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL				
Transport-middelen	Transport 1 ... - -	Transport prefab element	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]				
		Transportafstand enkel [km]						40			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]						5393			
	Transport 2 ... - -	Transport prefab element	n.v.t.	n.v.t.				0	0	0	
		Transportafstand enkel [km]									0
		Hoeveelheid, gewicht [kg]									5393
	Transport 3 ... - -	Transport prefab element	n.v.t.	n.v.t.				0	0	0	
		Transportafstand enkel [km]									0
		Hoeveelheid, gewicht [kg]									5393

Tabel 7e
Input - bouwplaats (A5)

Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen							
Componenten betonmengsel toevoegen in kg per m3 beton, alleen de lichtgrijze cellen invullen!				LCA per m3 beton		LCA totaal	
Hoeveelheid betonmortel [m3]:	13,5			LCA (fase A5), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	17,904	LCA totaal (fase A5), betonmortel	241,699
Hoeveelheid prefab elementen [st]:	6			LCA (fase A5), prefab element (kg CO2 / element):	42,904	LCA totaal (fase A5), prefab element	257,422
Bouwplaats, plaatsen prefab element (LCA fase A5)				CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL	
Processen bouwplaats	Proces 1	Profiel	Heien en hijsen	Kraan [hr]			
		Hoeveelheid [m3] [hr]	-		0,5		
		Transport toeslagmateriaal	n.v.t.	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
			Transportafstand [km]	-		37	
	Proces 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.			
		Hoeveelheid [m3] [hr]	-		0		
		Transport toeslagmateriaal	n.v.t.	n.v.t.			
			Transportafstand [km]	-		0	
	Proces 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.			
		Hoeveelheid [m3] [hr]	-		0		
		Transport toeslagmateriaal	n.v.t.	n.v.t.			
			Transportafstand [km]	-		0	
						TOTAAL (kg CO2 / element)	42,904
Bouwplaats, storten betonmortel (LCA fase A5)				CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL	
Wapening & staal	Wapening / staal 1	Profiel	Wapening	Wapeningsstaal			
		Hoeveelheid [kg]	-		5		
		Percentage productieafval [%]	2		0,02		
		Transport materiaal	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 5, ongemixte HVO			
		Transportafstand [km]	-		45		
	Wapening / staal 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.			
		Hoeveelheid [kg]	-		0		
		Percentage productieafval [%]	0		0		
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.			
		Transportafstand [km]	-		0		
Bekisting	Bekisting 1	Profiel	Hout	Multiplex			
		Hoeveelheid [kg]	-		4		
		Percentage productieafval [%]	10		0,1		
		Transport materiaal	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
			Transportafstand [km]	-		57	
	Bekisting 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.			
		Hoeveelheid [kg]	-		0		
		Percentage productieafval [%]	0		0		
Transport materiaal		n.v.t.	n.v.t.				
		Transportafstand [km]	-		0		
Processen bouwplaats	Proces 1	Profiel	Heien en hijsen	Betonpomp [m3]			
		Hoeveelheid [m3] [hr]	-		1		
		Transport	n.v.t.	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
		Transportafstand [km]	-		50		
	Proces 2	Profiel	Verdichten	Verdichten - met trilnaald [m3]			
		Hoeveelheid [m3] [hr]	-		1		
		Transport	n.v.t.	n.v.t.			
		Transportafstand [km]	-		0		
		Profiel	n.v.t.	n.v.t.			

	Proces 3	Hoeveelheid [m3] [hr]	-		0
		Transport	n.v.t.	n.v.t.	
		Transportafstand [km]	-		0
Energie & brandstof	Energie 1	Profiel	Brandstof	Diesel [l]	
		Hoeveelheid	-		0,2
	Energie 2	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid	-		0
	Energie 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid	-		0
Overige	Overige 1	Profiel	Curing compound	Curing compound	
		Hoeveelheid [kg]	-		0,3
		Percentage productieafval [%]	5		0,05
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.	
		Transportafstand [km]	-		0
	Overige 2	Profiel	Kunststof	Afstandhouders (pp)	
		Hoeveelheid [kg]	-		0,04
		Percentage productieafval [%]	2		0,02
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.	
		Transportafstand [km]	-		0
	Overige 3	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid [kg]	-		0
		Percentage productieafval [%]	0		0
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.	
		Transportafstand [km]	-		0
	Overige 4	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid [kg]	-		0
		Percentage productieafval [%]	0		0
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.	
		Transportafstand [km]	-		0
	Overige 5	Profiel	n.v.t.	n.v.t.	
		Hoeveelheid [kg]	-		0
		Percentage productieafval [%]	0		0
		Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.	
Transportafstand [km]		-		0	
Overige 6	Profiel	n.v.t.	n.v.t.		
	Hoeveelheid [kg]	-		0	
	Percentage productieafval [%]	0		0	
	Transport materiaal	n.v.t.	n.v.t.		
	Transportafstand [km]	-		0	

TOTAAL (kg CO2 / m3)

17,904

Tabel 7f
input - sloop, hergebruik (C+D)



Registratie- en monitoringstool CO2 uitstoot in de betonketen

Alleen de lichtgrijze cellen invullen!							
Volumieke massa [kg/m3]	2396,889	Hoeveelheid prefab beton [m3]	13,500	Volumieke massa [kg/m3]	2388,000	Hoeveelheid beton [m3]	13,500
LCA per m3 prefab betonproduct		LCA totaal betonproduct		LCA per m3 betonmortel		LCA totaal betonmortel	
LCA (fase C1), prefab beton (kg CO2 / m3 beton):	0,009	LCA totaal (fase C1):	0,1215	LCA (fase C1), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	0,009	LCA totaal (fase C1):	0,122
LCA (fase C2), prefab beton (kg CO2 / m3 beton):	4,314	LCA totaal (fase C2):	58,2444	LCA (fase C2), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	4,298	LCA totaal (fase C2):	58,028
LCA (fase C3), prefab beton (kg CO2 / m3 beton):	0,002	LCA totaal (fase C3):	0,027	LCA (fase C3), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	0,002	LCA totaal (fase C3):	0,027
LCA (fase C4), prefab beton (kg CO2 / m3 beton):	0,005	LCA totaal (fase C4):	0,0675	LCA (fase C4), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	0,005	LCA totaal (fase C4):	0,068
LCA (fase D), prefab beton (kg CO2 / m3 beton):	-10,407	LCA totaal (fase D):	-140,49288	LCA (fase D), betonmortel (kg CO2 / m3 beton):	-9,991	LCA totaal (fase C5):	-134,880

Er zijn twee keuzes voor afval / hergebruik voor beton: 1. *geen* C2-C4/D voor beton (CO2 uitstoot = 0), 2. C2-C4/D betongranulaat als vervanging voor grind in wegfundering (95%), als grindvervanging in nieuw beton (4%), en stort (1%), gebaseerd op het praktijkscenario. Staal is 100% recyclebaar.

Sloop in het werk gestort beton (LCA fase C1)				CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Sloop	Sloop 1	Type sloop	Slopen beton, Semi-Intensief (gemiddeld)			
	Sloop 2	Type sloop	N.v.t.			
	Sloop 3	Type sloop	N.v.t.			

Let op: wanneer er geen fase C2-C4/D wordt toegekend, alles op n.v.t. of geen zetten in kolom 4

Transport naar de afvalverwerker van in het werk gestort beton (LCA fase C2)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Transportmiddelen	Transport 1	Transport sloopbeton	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
		Transportafstand enkel [km]	-	20			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2388,000			
	Transport 2	Transport sloopbeton	n.v.t.	n.v.t.			
		Transportafstand enkel [km]	-	0			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2388,000			
	Transport 3	Transport sloopbeton	n.v.t.	n.v.t.			
		Transportafstand enkel [km]	-	0			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2388,000			

Afvalverwerking, breken en eventuele stort van in het werk gestort beton(LCA fase C3+C4)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Afvalverwerking	Breken (C3)	Breekproces	Breekproces	Breken beton			
	Stort (C4)	Stortproces [1% is stort]	Stortproces	Storten beton			

Hergebruik van in het werk gestort beton (LCA fase D)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Hergebruik	Hergebruik 1	Type hergebruik	Beton	Betongranulaat als vervanging van grind			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2388,000			
	Hergebruik 2	Type hergebruik	Staal	Staal			
		Hoeveelheid [kg]	-	5			

TOTAAL (kg CO2 / m3) -5,677

Sloop prefab elementen (LCA fase C1)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Sloop	Sloop 1	Type sloop	Slopen beton, Semi-Intensief (gemiddeld)				
	Sloop 2	Type sloop	N.v.t.				
	Sloop 3	Type sloop	N.v.t.				
<i>Let op: wanneer er geen fase C2-C4/D wordt toegekend, alles op n.v.t. of geen zetten in kolom 4</i>							
Transport naar de afvalverwerker van prefab elementen (LCA fase C2)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Transportmiddelen	Transport 1	Transport sloopbeton	Vrachtwagen	Vrachtwagen (>32 ton), euro 6, diesel			
		Transportafstand enkel [km]		20			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2396,889			
	Transport 2	Transport sloopbeton	n.v.t.	n.v.t.			
		Transportafstand enkel [km]		0			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2396,889			
	Transport 3	Transport sloopbeton	n.v.t.	n.v.t.			
		Transportafstand enkel [km]		0			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2396,889			
Afvalverwerking, breken en eventuele stort van prefab elementen (LCA fase C3+C4)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Afvalverwerking	Breken (C3)	Breekproces	Breekproces	Breken beton			
	Stort (C4)	Stortproces [1% is stort]	Stortproces	Storten beton			
Hergebruik van prefab elementen (LCA fase D)					CO2 uitstoot [per eenheid]	CO2 uitstoot [totaal]	SUBTOTAAL
Hergebruik	Hergebruik 1	Type hergebruik	Beton	Betongranulaat als vervanging van grind			
		Hoeveelheid, gewicht [kg]	-	2388,000			
	Hergebruik 2	Type hergebruik	Staal	Staal			
		Hoeveelheid [kg]	-	8,88888889			
					TOTAAL (kg CO2 / m3)	-6,076	

Tabel 8
Datasets



Datasets

CO2-uitstootgegevens zijn afkomstig uit de milieuprofielen van de ontwerptool Groen Beton van het Betonhuis

Bindmiddelen		CO2 uitstoot (GWP)	Toeslagmaterialen		CO2 uitstoot (GWP)	Vul-, hulp- en kleurstoffen		CO2 uitstoot (GWP)				
ENCI	CEM I 42.5 N (G1), ENCI / HeidelbergCement		Primair toeslagmateriaal grof	Gebroken grind (NL)		Vulstof	ECO filler fijn, REKO					
	CEM I 42.5 R/52.5 N (G2), ENCI / HeidelbergCement			Geexpandeerde kleikorrels (BE)			ECO filler grof, REKO					
	CEM I 52.5 R (G3), ENCI / HeidelbergCement			Geexpandeerde kleikorrels, c3			Kalksteenmeel (BE)					
	CEM II/B-M (S-V) 32.5 N (L4), ENCI / HeidelbergCement			Geexpandeerde kleikorrels (DE)			Kalksteenmeel (DE)					
	CEM II/B-S 52.5 N (L8), ENCI / HeidelbergCement			Grind 4-32, Cascade			Kalksteenmeel (NL)					
	CEM III/A 32.5 N (G4), ENCI / HeidelbergCement			Grind (BE)			Poederkoolvliegias					
	CEM III/A 42.5 N (G5), ENCI / HeidelbergCement			Grind, c3			Silica fume					
	CEM III/A 52.5 N (G6), ENCI / HeidelbergCement			Grind (DE)			Natronloog (50%)					
	CEM III/B 32.5 N/42.5 L (G7), ENCI / HeidelbergCement			Grind, NVLB			Plastificeerder					
	CEM III/B 42.5 N (G8), ENCI / HeidelbergCement			Industriegrind t/m beladen binnenvaartschip, MSB			Superplastificeerder					
CEM III/C 32.5 N (L9), ENCI / HeidelbergCement	Industriegrind t/m beladen vrachtauto, MSB	Waterglas, hydrothermaal (48%)	Hulpstof	Waterglas, hydrothermaal (80%)								
Holcim	HOLCIM_CEM I 52.5 R, Beckum			Primair toeslagmateriaal fijn	Kalksteen (BE)		Vezels	Waterglas, ovenproces (37%)				
	HOLCIM_CEM III / A 42.5 N, Dortmund				Steenlag, Bestone, Graniet Import Benelux			Kunststofvezels				
	HOLCIM_CEM III / A 42.5 N, Schwelgern		Steenlag, Cascade		Kunststofvezels, PP, Contec Fiber, Concrix							
	HOLCIM_CEM III / A 52.5 N, Dortmund		Steenlag uit groeve in Europa		Kunststofvezels, PP, Fibrofor Diamond, Contec Fibe							
	HOLCIM_CEM III / B 32.5 N, Dortmund		Zeegrond, Spaansen IZG		Staalvezels							
	HOLCIM_CEM III / B 42.5 N, Schwelgern		Brekerzand (primair)		Kleurstof (carbon black)			Kleurstof		Kleurstof (overig)		
Dyckerhoff	Dyckerhoff_CEM I 42.5 R, Lengerich		Secundair toeslagmateriaal grof	Industriezand, Cascade		n.v.t.	Kleurstof, wit (titaan dioxide)		0			
	Dyckerhoff_CEM I 52.5 N, Geseke			Industriezand t/m beladen binnenvaartschip, MSB								
	Dyckerhoff_CEM I 52.5 R, Geseke			Industriezand t/m beladen vrachtauto, MSB								
	Dyckerhoff_CEM I 52.5 R, Lengerich			Zand, betonzand								
	Dyckerhoff_CEM II / B-M (S-L) 42.5 R, Lengerich			Zand (D)								
	Dyckerhoff_CEM III/B 42,5 L-LH/SR 2020 - NL, Neuwied			Zeezand, Spaansen IZG								
	Dyckerhoff_CEM III / B 42.5 L-LH/SR (na), Neuwied			Zeezand van de zandbank Buitenratel (België), De Cloedt								
	Dyckerhoff_CEM III / B 42.5 N LH/SR (na), Aquadur Doppel, Neuss			Zeezand van de zandbank Steenbank (Nederland), De Cloedt								
	Dyckerhoff_HOZ Doppel, CEM III / A 42.5 N (na), Neuss			Zeezand van de zandbank Thortonbank (België), De Cloedt								
	CEM III/B 42,5 N LH/SR (na), Dyckerhoff, Neuss			Zeezand van de zandbank Zone 3 (België), De Cloedt								
Phoenix	CEM I 42,5 R, Phoenix, Beckum		Secundair toeslagmateriaal grof	Betongranulaat, grof		↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑						
	CEM I 52,5 R, Phoenix, Beckum			Ecogranulaat								
	CEM III/A 42,5 N, Phoenix, Beckum			ECO granulaat grof (8/16), REKO								
	CEM I 52,5 N-SR3, Spenner, Erwitte			FORZ, Mineralz BV, Grof								
	CEM I 52,5 N (tb), Spenner, Erwitte			Menggranulaat								
Spenner	CEM I 52,5 N (tu), Spenner, Erwitte		Secundair toeslagmateriaal fijn	Betongranulaat, fijn		Wapening & staal	CO2 uitstoot (GWP)					
	CEM I 52,5 R, Spenner, Erwitte			Brekerzand (secundair)			Wapening	Glasvezel				
	CEM II/A-LL 42,5 N, Spenner, Erwitte			ECO granulaat fijn (2/8 mm), REKO				Glasvezelmatten				
	CEM II/A-LL 52,5 N, Spenner, Erwitte			ECO zand (0/2 mm), REKO				Voorspanstaal				
	CEM II/B-S 42,5 N, Spenner, Erwitte			FORZ, Mineralz BV, All-in				Voorspanstaal, Nedri Spanstaal, Venlo				
	CEM II/B-S 52,5 N (na), Spenner, Erwitte			FORZ, Mineralz BV, Fijn				Wapeningsstaal				
	CEM II/B-S 52,5 R (na), Spenner, Erwitte			Granova, 0 / 11.2 mm, Heros Sluiskil				Wapeningsstaal (VWN)				
	CEM III/A 42,5 N, Spenner, Duisburg			n.v.t.				0		Metaal	Constructiestaal	
	CEM III/A 42,5 N, Spenner, Erwitte										Gietijzer	
	CEM III/A 52,5 N, Spenner, Duisburg										Staal, RVS	
CEM III/B 32,5 N-LHSR, Spenner, Duisburg			n.v.t.	0								
CEM III/B 42,5 N-LHSR, Spenner, Duisburg			↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑									
Wittekind	CEM I 52,5 N, Wittekind, Erwitte		n.v.t.			Type sloop / hergebruik	CO2 uitstoot (GWP)					
	CEM I 52,5 R, Wittekind, Erwitte						Slopen beton	Slopen beton, Graven (bestratingsmateriaal)				
Schwenk	CEM I 52,5 R, Schwenk, Karlstadt		n.v.t.			Breekproces		Breken beton				
	CEM I 52,5 R, Schwenk, Karlstadt						Storten beton	0				
NL	CEM-I NL		n.v.t.			Type sloop / hergebruik	Grondstoffenequivalent					
	CEM III-A NL						Geen	Geen C2-C4/D voor beton	0			
	CEM III-B NL							Beton		Betongranulaat als vervanging van grind		
Eco2cem	Eco2cem (pure hoogovenslak)		n.v.t.			Staal	Staal					
	n.v.t.			0			↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑					
↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑			↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑			↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑						
Bekisting		CO2 uitstoot (GWP)	Bekisting		CO2 uitstoot (GWP)	Type sloop / hergebruik		CO2 uitstoot (GWP)				
Hout	Multiplex		Hout	Vurenhout		Slopen beton	Slopen beton, Semi-Intensief (gemiddeld)					
	Betonplex			Betonplex								
Overig	Mallenlak		Overig	Systeemkist		n.v.t.	n.v.t.					
	n.v.t.			n.v.t.			0					
↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑			↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑			↑ ruimte voor toekomstige aanvullingen ↑						

Opmerking: Overgenomen uit Milieuprofielen door Betonhuis, 2023. Geraadpleegd op 9 november 2023, van: <https://www.ontwerptoolgroenbeton.nl/>. Copyright 2023, Betonhuis.

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Geen gegevens voor lijst met afbeeldingen gevonden.

Tabellijst

Tabel 1: Informatieblad.....	4
Tabel 2: Stortplan insitu.....	5
Tabel 3: Stortformulier insitu.....	6
Tabel 4: Formulier prefab.	7
Tabel 5: Output dashboard.....	8
Tabel 6: Totaal	10
Tabel 7a: Input - betonmengsel (A1-A3).....	12
Tabel 7b: Input - prefab mengsel (A1-A3).....	14
Tabel 7c: Input - prefab element (A1-A3).....	16
Tabel 7d: Input - transport (A4).....	17
Tabel 7e: Input - bouwplaats (A5).....	18
Tabel 7f: Input - sloop, hergebruik (C+D).....	20
Tabel 8: Datasets	22

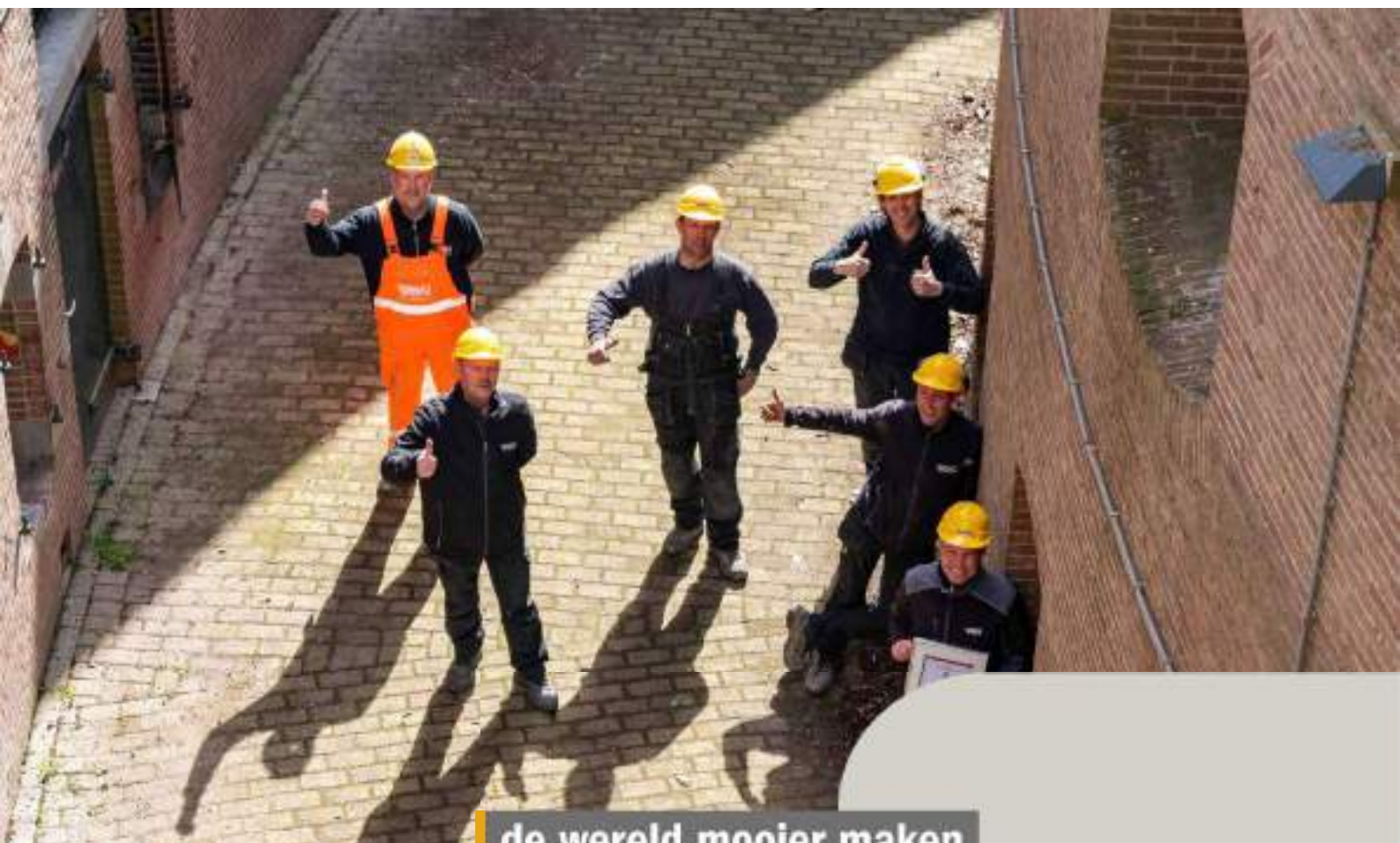
Literatuurlijst

- ▶ Betonhuis. (2023). *Milieuprofielen*. Opgeroepen op 9 november, 2023, van Ontwerptool Groen Beton: <https://www.ontwerptoolgroenbeton.nl/>
- ▶ Van der Ven. (sd). *Keuringsplan beton*. Brakel: Van der Ven. Opgeroepen op 20 november, 2023



Implementatieplan

Plan voor implementatie van de CO₂-reducerende maatregelen
Bijlageboekje 5 (beroepsproduct C5)



de wereld mooier maken

Inhoud

1. Inleiding	4
1.1 Achtergrond onderzoek	4
1.2 Doelstelling	4
1.3 Resultaten	5
1.4 Afbakening	5
1.5 Randvoorwaarden	5
1.6 Risicoanalyse	6
1.7 Leeswijzer	6
2. Implementatiestappen	7
2.1 Tenderfase	7
2.2 Inkoop en werkvoorbereiding	13
2.3 Uitvoering	17
2.4 Evaluatie	20
3. Communicatieplan	24
4. Beheersplan	26
4.1 Planning en taakverdeling	26
4.2 Beheersing van de planning	27
4.3 Budget	27
4.4 Budgetbeheersing	28
4.5 Organisatie	28
Tabel- en figuurlijst	29
Figuurlijst	29
Tabellijst	29
Literatuurlijst	30
Bijlagen	31
Bijlage 1 – Stroomschema tenderafdeling	
Bijlage 2 – Ondertekenaars Betonakkoord	
Bijlage 3 – Leveranciers en partners	
Bijlage 4 – Voorbeelden voor in het Plan van Aanpak	
Bijlage 5 – Stappenplan werkvoorbereiding	
Bijlage 6 – Inventarisatie betonwerk	

- Bijlage 7 – Brief leveranciers
- Bijlage 8 – Aanvullingen op de inkoopovereenkomst
- Bijlage 9 – Handleiding registratie- en monitoringstool
- Bijlage 10 – Stappenplan uitvoering
- Bijlage 11 – Stappenplan projectevaluatie
- Bijlage 12 – Stappenplan jaarevaluatie
- Bijlage 13 – Formulieren t.b.v. evaluatie
- Bijlage 14 – Risicoanalyse
- Bijlage 15 – Planning

1. Inleiding

1.1 Achtergrond onderzoek

In de afstudeerscriptie: “CO₂-reductie in de betonketen” is er onderzoek gedaan naar hoe er CO₂ kan worden gereduceerd in de betonketen. Aanleiding voor dit onderzoek was de scope 3 analyse van Aannemingsbedrijf G. Van der Ven B.V., waaruit bleek dat de productcategorie beton de grootste CO₂-uitstoter is, met een aandeel van ruim 65%. Dit probleem is onderzocht door middel van een combinatie van literatuuronderzoek, bureauonderzoek, veldonderzoek en toegepast onderzoek.

Na het in kaart brengen van de huidige situatie zijn er maatregelen geïnventariseerd voor CO₂-reductie in de betonketen. Deze maatregelen zijn vervolgens tegen elkaar afgewogen middels een Multi Criteria Analyse en beoordeeld aan de hand van diverse criteria over de verschillende periodes in de markt van de komende 10 jaar. De maatregellijst en de Multi Criteria Analyse zijn opgenomen in [bijlageboekje 3](#).

De uitkomsten van de Multi Criteria Analyse, oftewel de te implementeren maatregelen, zijn opgenomen in hoofdstuk 7.2 van de scriptie. De te implementeren maatregelen die in dit implementatieplan worden uitgewerkt zijn per periode als volgt:

- ▶ **2024-2025:** inzetten op klinkervervanging, secundaire grondstoffen, materiaalbesparing (door slim te ontwerpen) en de verduurzaming van de transport- en bouwphase. Daarnaast experimenteren met de toepassing van alternatieve wapening, versnellers, hybride beton, AEC-en ECO-granulaat en het hergebruik van betonnen elementen. Als laatste: leveranciers selecteren op basis van een duurzaam productieproces en pilots draaien met een slimme bouwplanning en hogere eindsterkte;
- ▶ **2025-2030:** nog steeds inzetten op klinkervervanging, maar niet door hoogovenslak en vliegas. Naast bovengenoemde maatregelen inzetten op innovaties zoals geopolymeerbeton, gerecyclede cementsteen en waterstof als brandstof;
- ▶ **2030 >:** naast bovengenoemde maatregelen inzetten op CCU/S. Omdat nog niet bekend is of Van der Ven hier invloed op kan uitoefenen in 2030 is deze maatregel niet opgenomen in dit implementatieplan.

Bovengenoemde maatregelen worden in dit implementatieplan uitgewerkt, op basis van de fasen van implementatie en de projectfasen, en niet specifiek per maatregel omdat dit projectafhankelijk is.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit implementatieplan is geformuleerd met behulp van de SMART-methode:



“Het doel van dit implementatieplan is om de CO₂-reducerende maatregelen die genomen moeten worden, daadwerkelijk in de praktijk te brengen bij Aannemingsbedrijf G. Van der Ven B.V. en hun partners in de betonketen in de komende 10 jaar. Dit moet meetbaar worden gemaakt door middel van registratie en monitoring in de daarvoor bestemde tool en realistisch door de bijbehorende planning. Het communicatieplan, moet ervoor zorgen dat het doel wordt geaccepteerd door alle betrokkenen.”

1.3 Resultaten

Met dit implementatie van dit plan worden de volgende resultaten verwacht:

- ▶ **Werkwijze:** de werkwijze veranderd op een aantal vlakken, hiervoor is per projectfase een stroomschema of stappenplan opgesteld.;
- ▶ **Processen:** de algemene processen per projectfase veranderen niet, de werkzaamheden in de processen wel, zie onderstaand. Ook ontstaat er een nieuw proces in de evaluatiefase, namelijk de jaarevaluatie met betrekking tot de implementatie en de CO₂-uitstootgegevens;
- ▶ **Werkzaamheden:** de werkzaamheden in de processen veranderen wel, en er komen werkzaamheden bij, zoals:
 - Vragen stellen met de Nota van Inlichtingen met betrekking tot duurzaamheid in het contract;
 - Inschakelen van adviseurs met betrekking tot CO₂-reductie van beton;
 - Inventariseren van het betonwerk;
 - Beoordelen van offertes naast prijs op duurzaamheid;
 - Extra controles met betrekking tot het betonwerk voor en tijdens de aanvang van de werkzaamheden;
 - Uitgebreider invullen stortplannen en formulieren door gebruik van de registratie- en monitoringstool;
 - Uitvoeren van een jaarevaluatie;
 - Overkoepelend: uitvoering implementatieplan, inclusief beheersing planning;
 - Toekomstbestendig houden van de registratie- en monitoringstool.
- ▶ **Aantal medewerkers:** er moet één nieuwe medewerker worden aangenomen, namelijk de duurzaamheidscoördinator, om ondercapaciteit van de KAM-afdeling te voorkomen;
- ▶ **Kwaliteit diensten en producten:** in principe verandert het resultaat niets aan de kwaliteit van diensten en producten. Als een opdrachtgever CO₂-reductie belangrijk vindt kan dit worden gezien als een kwaliteitsverbetering;
- ▶ **Organisatie:** voor de gehele organisatie verandert voornamelijk de inhoud van bepaalde processen; de werkzaamheden, doordat er in het gehele project rekening moet worden gehouden met de mogelijkheden voor CO₂-reductie in de betonketen.

1.4 Afbakening

Voor de afbakening wordt de scope van het afstudeeronderzoek aangehouden. De zaken die binnen de scope van het project vallen zijn als volgt:

- ▶ Enkel de emissie van CO₂ (koolstofdioxide), dus niet: NO_x (stikstof) en PM (fijnstof);
- ▶ De emissie die wordt veroorzaakt door de realisatie van projecten;
- ▶ Enkel de CO₂-uitstoot die vrijkomt bij de ketenanalyse van beton, van grondstoffenwinning tot en met afvalverwerking / hergebruik.

Dit implementatieplan leidt niet tot een vastgestelde lijst van maatregelen voor een project, aangezien dit afhankelijk is van het specifieke project.

1.5 Randvoorwaarden

De opdrachtgevende organisatie, Van der Ven, dient te voldoen aan bepaalde randvoorwaarden om de implementatiestappen te kunnen uitvoeren:

- ▶ Beschikbaarheid van vakkennis, als deze er niet is moeten er adviseurs ingehuurd worden;
- ▶ Beschikbaarheid van medewerkers: het aannemen van een duurzaamheidscoördinator;
→ Update: 13-12-2023: de duurzaamheidscoördinator is aangenomen en start begin 2024.
- ▶ Beschikbaarheid van middelen en producten: dit is project specifiek, en nu niet te definiëren;
- ▶ Bereidheid van het management voor veranderingen: uit de interviews blijkt dat deze bereidbaarheid er is, dit is opgenomen in hoofdstuk 5.1 van de scriptie en in bijlageboekje 6 (interviews).

1.6 Risicoanalyse

In **bijlage 14** is een risicoanalyse opgenomen. In de risicoanalyse zijn onder andere bovenstaande randvoorwaarden en activiteiten uit het beheersplan meegenomen. De kwantificering van de risico's zijn opgesteld na versie 1 van dit implementatieplan. De vervolgens te nemen beheersmaatregelen zijn verwerkt in de huidige versie, versie 2 van dit implementatieplan. De drie grootste risico's uit de analyse zijn:

1. Implementatiestappen in de voorbereidings-, realisatie- en evaluatiefase worden niet uitgevoerd;
2. De opdrachtgever is niet bereid om CO₂-reductie in de betonketen door te voeren in de projecten;
3. Ondanks dat er wordt gegund op duurzaamheid, worden de implementatiestappen niet uitgevoerd.

De drie grootste restrisico's, na verwerking van de beheersmaatregelen, zijn:

1. Onvoldoende beschikbaarheid van middelen en producten voor het realiseren van CO₂-reductie;
2. De opdrachtgever is niet bereid om CO₂-reductie in de betonketen door te voeren in de projecten;
3. Implementatiestappen in de voorbereidings-, realisatie- en evaluatiefase worden niet uitgevoerd.

Op restrisico 1 heeft Van der Ven geen invloed, Van der Ven kan namelijk niet de politiek beïnvloeden. Hierdoor kunnen er geen beheersmaatregelen worden getroffen waardoor het restrisico gelijk blijft.

Op restrisico 2 heeft Van der Ven geen invloed, omdat Van der Ven een opdrachtgever maar tot een bepaalde hoogte kan beïnvloeden of stimuleren. Een volgende maatregel om het restrisico verder te kunnen inperken zou kunnen zijn dat er voor bepaalde opdrachtgevers niet meer ingeschreven gaat worden. Echter weegt dan het belang duurzaamheid hoger op tegen het belang van bedrijfsbestaantheid.

Als restrisico 3 niet wordt geaccepteerd moet Van der Ven gaan kijken naar een interne sanctie, eventueel in combinatie met een bonus- malus systeem.

In het beheerplan is een taak opgenomen voor de duurzaamheidscoördinator om elk kwartaal de risicoanalyse te verifiëren op mogelijke vroegtijdige waarschuwingssignalen van veranderingen die de risico's kunnen verhogen, als onderdeel van het Early Warning System.

1.7 Leeswijzer

Het komende hoofdstuk zal gedetailleerd ingaan op de implementatiestappen voor elke fase van het project: tenderfase, inkoop- en werkvoorbereiding, uitvoering en evaluatie. Hierbij wordt aandacht besteed aan het proces, de rol van de opdrachtgever, de implementatiemethode (inclusief uitgebreide toelichting), de verantwoordelijkheden en er wordt afgesloten met een conclusie.

Vervolgens is in hoofdstuk 3 een communicatieplan opgenomen en in hoofdstuk 4 een beheersplan.

2. Implementatiestappen

In dit hoofdstuk is toegelicht op welke manier de implementatie-activiteiten geïmplementeerd moeten worden, oftewel: de gehanteerde aanpak. Hierbij wordt verder ingegaan op de rol die de opdrachtgever speelt bij implementatie, de eventuele mogelijkheid voor het testen van de oplossing, een toelichting op de specifieke methode die gebruikt moet worden en wie waarvoor verantwoordelijk is.

Dit hoofdstuk is gestructureerd op basis van de fasen van een project, namelijk: de voorbereidings-, uitvoerings- en evaluatiefase. Dit zijn ook gelijk de drie fasen van implementatie. De voorbereidingsfase is onderverdeeld in de tenderfase en de inkoop- en werkvoorbereidingsfase. Voor elke projectfase is een uitgebreide toelichting op het proces gegeven. (L. Benders & Scharwächter, 2023)

2.1 Tenderfase

2.1.1 Toelichting op het proces

Waarom is het tenderproces zo relevant voor verduurzaming? Om deze vraag te beantwoorden, is het noodzakelijk om eerst dieper in te gaan op het tenderproces en het belang ervan te verduidelijken.

Een tender, ook wel bekend als een aanbesteding, is een proces waarin opdrachtgever bedrijven vraagt om een specifieke dienst of product te leveren. De bedrijven dienen een offerte in om zich aan te melden voor het uitvoeren van het werk of de dienst. De opdrachtgever beoordeelt vervolgens de ingediende offertes op basis van criteria zoals prijs en kwaliteit om te beslissen aan welke inschrijver de opdracht wordt toegekend. (House of tenders, sd)

Zodra een opdrachtgever de aanbestedingsdocumenten openbaar maakt, begint het tenderproces en gaat het tenderteam aan de slag met het voorbereiden van de inschrijving. Deze initiële fase is cruciaal voor het project en heeft indirect invloed op de uiteindelijke uitvoering, aangezien er beslissingen worden genomen met betrekking tot financiën en aanpak tijdens het inschrijvingsproces. Er zijn een aantal belangrijke momenten in het tenderproces, die ook invloed kunnen hebben op duurzaamheid:

- ▶ **Publicatie aanbestedingsdocumenten;**
In de aanbestedingsdocumenten kunnen eisen worden gesteld met betrekking tot duurzaamheid;
- ▶ **Nota van inlichtingen;**
In de Nota van Inlichtingen kunnen vragen worden gesteld met betrekking tot de aanbestedingsdocumenten aan de opdrachtgever;
- ▶ **(mogelijk) onderlinge interactie met de opdrachtgever;**
Tijdens de onderlinge interactie kan de opdrachtnemer de opdrachtgever overtuigen van zijn of haar Plan van Aanpak, bijvoorbeeld met criteria als duurzaamheid;
- ▶ **Beoordeling & gunning;**
Met de beoordeling & gunning wordt het plan en de offerte beoordeeld op basis van de criteria prijs en kwaliteit, duurzaamheid kan meegenomen zijn als gunningscriteria en zo kan het de opdrachtnemer fictieve korting opleveren.

2.1.2 Rol van de opdrachtgever

De taken van de opdrachtgever tijdens het tenderproces zijn in de vier stappen hierboven toegelicht en hebben een grote invloed op de mogelijke verduurzaming in de betonketen. Tijdens de eerste stap is het van belang dat de opdrachtgever uitvraagt en eisen stelt op het gebied van verduurzaming (in de betonketen). Als de opdrachtgever dit niet doet is het aan de inschrijvende partij om de opdrachtgever te stimuleren om dit in het vervolg wel te doen, bijvoorbeeld door het gebruik van de Nota van Inlichtingen. Ook is het de taak van de opdrachtgever op de inschrijving te beoordelen op prijs en kwaliteit en vervolgens één inschrijvende partij het werk te gunnen. De rol van de opdrachtgever is in deze fase dus erg groot. Om hier invloed als inschrijvende op te kunnen uitoefenen is er een stroomschema in het volgende hoofdstuk opgenomen.

2.1.3 Methode – Stroomschema

In dit hoofdstuk staat de volgende vraag centraal: “Hoe kan je duurzaamheid meenemen in plannen voor aanbestedingen?”. Allereerst is het van groot belang dat de tenderafdeling de opdrachtgever gaat stimuleren om duurzaamheid uit te vragen, specifiek voor het materiaal beton. Vaak ontbreekt het nog aan een duurzame benadering in aanbestedingen, doordat opdrachtgevers het lastig vinden om duurzaamheid expliciet te formuleren. Dit kan voortkomen uit een gebrek aan interne kennis. Soms wegen andere aspecten, zoals kosten en kwaliteit, zwaarder in de besluitvorming van opdrachtgevers (Aanen, Communicatie, 2023, pp. 77-85).

Door de opdrachtgever met de Nota van Inlichtingen vragen te stellen, zoals bijvoorbeeld waarom duurzaamheid niet is opgenomen in het contract, of als het wel is opgenomen, waarom dan niet specifiek voor beton maar wel voor andere materialen, kan de opdrachtgever gestimuleerd worden om in de toekomst wel expliciet aandacht te besteden aan duurzaamheid. Het stellen van deze vragen fungeert als een trigger en moedigt de opdrachtgever aan om duurzaamheidsaspecten serieuzer te overwegen bij toekomstige aanbestedingen.

In **bijlage 1** van dit document is een stroomdiagram opgenomen voor de tenderafdeling. In figuur 1 is een deel van dit stroomdiagram weergegeven. Het doel van dit stroomdiagram is om bij elke aanbesteding te bepalen welke aanpak het meest geschikt is om duurzaamheid in de betonketen te integreren in de inschrijving voor de aanbesteding. Onder de figuur is deze aanpak uitgebreid toegelicht.



Figuur 1: Stroomdiagram voor de tenderafdeling

De eerste vraag die moet worden gesteld na het ontvangen van de aanbestedingsdocumenten is als volgt: "Is er betonwerk aanwezig in het project?". Als het antwoord op deze vraag nee is, is er binnen dit project geen reductie van de CO₂-uitstoot in de betonketen mogelijk. Als het antwoord op deze vraag ja is, moet de vraag worden gesteld: "Is duurzaamheid meegenomen als gunningscriteria of contracteis in de aanbestedingsstukken?". Is het antwoord op de vraag "ja", dan moet het stroomdiagram over links gevolgd worden. Is het antwoord op de vraag "nee", dan moet het stroomdiagram over rechts gevolgd worden.

Als het stroomdiagram over links gevolgd wordt is de eerst volgende vraag: "Hebben de eisen / criteria specifiek betrekking op beton?". Als dit niet het geval is moet antwoord gegeven op de vraag: "In welke vorm dan wel?". Zoals: circulariteit, MKI of LCA (alleen niet voor beton), CO₂-prestatieladder of overig, zoals BREEAM-NL, de MVO-prestatieladder of ESG.

- ▶ **Circulariteit** → Tijdens de eerst volgende Nota van Inlichtingen moet worden aangegeven dat er voor beton ook veel circulaire toepassingen zijn, zoals: secundaire grondstoffen, klinkervervanging door reststoffen of het hergebruik van elementen. Hier moet vervolgens mee aan de slag worden gegaan in het Plan van Aanpak;
- ▶ **MKI of LCA (alleen niet voor beton)** → Met de eerst volgende Nota van Inlichtingen moet de vraag worden gesteld waarom het materiaal beton niet is meegenomen, en andere materialen wel. Daarnaast moet worden aangegeven dat Van der Ven de ambitie heeft om CO₂ te reduceren in de betonketen. Hier moet vervolgens mee aan de slag worden gegaan in het Plan van Aanpak;
- ▶ **CO₂-prestatieladder** → Van der Ven is gecertificeerd voor de hoogst haalbare trede van de CO₂-prestatieladder, trede 5. Daarnaast moet worden aangegeven dat Van der Ven specifiek bezig is met CO₂-reductie in de betonketen, en dat dit nog veel verder gaat dan niveau 5 van de ladder. Dit moet vervolgens worden verwerkt in het Plan van Aanpak;
- ▶ **Overig** → Van der Ven is hier niet voor gecertificeerd. Tijdens de eerst volgende Nota van Inlichtingen moet worden aangegeven dat Van der Ven, ondanks ze niet gecertificeerd is voor deze middelen, zich specifiek inzet voor CO₂-reductie in de betonketen, en dat dit veel verder gaat dan deze certificaten. Dit moet vervolgens worden verwerkt in het Plan van Aanpak.

Als het stroomdiagram over links gevolgd wordt, en het antwoord op de vraag: "Hebben de eisen / criteria specifiek betrekking op beton?" "ja" is, moet er antwoord gegeven worden op de vraag: "In welke vorm?". Zoals: circulariteit, CSC, LCA of MKI.

- ▶ **MKI** → MKI is een goede tool om de milieu impact van een materiaal weer te geven. Echter gaat MKI in op alle milieueffecten, terwijl voor beton voornamelijk CO₂ invloed heeft. Daarom moet er goed worden gekeken naar de manier van beoordelen, er zijn twee opties:
 1. De maximale score is haalbaar op basis van een reductiepercentage ten opzichte van het referentiemengsel;
 2. De maximale score is op basis van de inschrijver die de laagste MKI-waarde heeft.

In het geval van optie 1 is de maximale score nu vaak nog makkelijk haalbaar (persoonlijke communicatie, november 2023). Daarom moet tijdens de eerst volgende Nota van Inlichtingen worden aangegeven dat er op deze manier geen ruimte is voor maximale reductie en innovaties. Van der Ven kan hiermee aan de slag, maar de beoordelingsmanier geeft hier geen ruimte voor, waardoor Van der Ven aan de slag moet gaan met standaard oplossingen met minder reductiepotentieel.

In het geval van optie 2 moet er gekeken worden naar innovaties met een maximale reductie, zoals geopolymerbeton, gerecyclede cementsteen of zelfs een combinatie van CO₂-reducerende maatregelen. In dit geval moet worden nagegaan wat maximaal haalbaar is (zie ook hoofdstuk 8.3 van de scriptie), dit moet worden verwerkt in het Plan van Aanpak om zo maximaal te kunnen scoren op dit criterium;

- ▶ **LCA** → In het Plan van Aanpak moet worden beschreven dat Van der Ven een specifieke registratie- en monitoringstool heeft voor beton, waarmee de CO₂-uitstoot kan worden uitgerekend over de gehele levenscyclus van beton, en dat daarnaast ook prefab betonproducten en betonmortel met elkaar vergeleken kunnen worden. Door in het Plan van Aanpak het dashboard te laten terugkomen, wat inzicht geeft waar in gereduceerd moet worden en tevens dient als praatplaatje voor de opdrachtgever kan er worden gescoord op dit criterium. Het wordt aanbevolen om in de tool zo'n duurzaam mogelijk mengsel te verwerken na overleg met een adviseur;
- ▶ **CSC** → Een CSC-certificering is specifiek voor betonmortel producenten, veel van de standaard leveranciers van Van der Ven hebben dit certificaat bezit, zie **bijlage 3**. Tijdens de eerste Nota van Inlichtingen moet worden aangegeven dat Van der Ven veel verder gaat dan een CSC-certificering, dit moet ook worden opgenomen in het Plan van Aanpak;
- ▶ **Circulariteit** → Dit is ook een heel belangrijk thema, en kan een positieve invloed hebben op CO₂-reductie. In het Plan van Aanpak kunnen één (of meerdere) van de volgende toepassingen in beton uitgewerkt worden: demontabel bouwen, secundaire grondstoffen, klinkervervanging door reststoffen of hergebruik van elementen. Hoe meer maatregelen gecombineerd kunnen worden, hoe hoger er gescoord kan worden op dit criterium.

Als duurzaamheid niet is meegenomen als gunningscriteria of contracteis in de aanbestedingsstukken moet het stroomdiagram over rechts gevolgd worden. Als het stroomdiagram over rechts wordt gevolgd is de eerst volgende vraag: "Heeft de opdrachtgever zich aangesloten bij het Betonakkoord?". Als dit het geval is moet de opdrachtgever hierop geattendeerd worden in de eerst volgende Nota van Inlichtingen met de opmerking dat de partij het Betonakkoord heeft ondertekend, maar niets doet met de verduurzaming in de betonketen. Wat is vervolgens de reactie van de opdrachtgever?

- ▶ *"Klopt, wij hebben het Betonakkoord ondertekend, maar...*
 - ... *wij vinden verduurzaming in de betonketen wel belangrijk, maar wij hebben geen budget voor duurzame oplossingen."*; (1)*
 - ... *wij vinden duurzaamheid wel belangrijk, maar in dit project ligt de focus op aspecten zoals tijd en kwaliteit."* Of: (2)*
- ▶ *"Klopt, wij hebben inderdaad het Betonakkoord ondertekend. Doe maar een voorstel voor duurzame toepassingen in het betonwerk."* (3)*

Als de opdrachtgever zich niet heeft aangesloten bij het Betonakkoord moet bij de eerst volgende Nota van Inlichtingen de vraag worden gesteld waarom duurzaamheid niet is meegenomen in de aanbestedingsstukken. Daarnaast moet aangegeven worden dat Van der Ven de ambitie heeft om CO₂ te reduceren in de betonketen. Wat is vervolgens de reactie van de opdrachtgever?

* De volgende actie is per cijfer vermeld in de alinea hieronder

- ▶ *“Wij vinden duurzaamheid niet belangrijk.”*
 - Ondanks dat de opdrachtgever duurzaamheid misschien niet belangrijk vindt, vindt Van der Ven het wel belangrijk. Daarom wordt het aanbevolen om in de calculatie budget vrij te houden voor duurzaamheid zodat in de uitvoering CO₂-reducerende maatregelen met betrekking tot beton genomen kunnen worden;
- ▶ *“Wij vinden duurzaamheid wel belangrijk, maar...”*
 - *wij hebben geen budget voor duurzame oplossingen.” (1)*
 - In dit geval moet het gesprek worden aangegaan met een mogelijke toekomstige leverancier voor het beton(product). Er zijn namelijk duurzame oplossingen beschikbaar die per definitie niet extra geld kosten, of zelfs geld besparen. Denk hierbij aan: materiaalbesparing, klinkervervanging, alternatieve wapening, hybride beton, het hergebruik van elementen, toepassing van secundaire grondstoffen en de keuze voor prefab of insitu. De gekozen oplossing moet vervolgens worden verwerkt in het Plan van Aanpak;
 - *wij hebben niet voldoende kennis in huis.”*
 - De opdrachtgever heeft misschien niet voldoende kennis in huis, maar Van der Ven heeft dit wel. Daarnaast heeft Van der Ven korte lijntjes met adviseurs. Daarom wordt het aanbevolen om een adviseur in te schakelen om samen naar de mogelijkheden te kijken voor het verduurzamen van het betonwerk. Dit moet vervolgens worden verwerkt in het Plan van Aanpak;
 - *in dit project ligt de focus op aspecten zoals tijd en kwaliteit.” (2)*
 - Er zijn ook voldoende duurzame oplossingen beschikbaar met een positieve invloed op tijd zoals: versnellers, alternatieve wapening en de keuze van prefab of insitu. Hetzelfde geldt voor kwaliteit, denk aan: klinkervervanging, slimme bouwplanning, optimalisatie korrelpakking en zelf helend beton. Het wordt daarom aanbevolen om een adviseur in te schakelen om samen te kijken naar de mogelijkheden om het betonwerk te verduurzamen. Dit moet vervolgens worden verwerkt in het Plan van Aanpak;
- ▶ *“Wij vinden duurzaamheid wel belangrijk, stom dat we hier niet over nagedacht hebben!” (3)*
 - In dit geval kan er worden gekeken naar innovaties, zoals de toepassing van geopolymerbeton en gerecycled cementsteen. Innovaties die in de toekomst heel belangrijk gaan zijn en waar nu al pilots mee gedraaid moeten worden. Daarnaast is er veel CO₂-reductie haalbaar met dit soort innovaties. Hiervoor wordt aanbevolen om een adviseur in te schakelen en samen aan de slag te gaan met het Plan van Aanpak.

Ongeacht welk traject wordt gevolgd in het stroomschema, is het essentieel om een adviseur in te schakelen bij het integreren van maatregelen in het Plan van Aanpak. Zo kan project specifiek worden gekeken naar CO₂-reducerende maatregelen in de betonketen. Een betonleverancier heeft vaak al voldoende kennis om deze vragen te kunnen beantwoorden. In **bijlage 3** is een lijstje opgenomen met leveranciers en partners die al goed bezig zijn met de verduurzaming van beton, en gerust benaderd kunnen worden. In **bijlage 2** is een tabel opgenomen met ondertekenaars van het Betonakkoord, onder andere met opdrachtgevers en leveranciers. Hier kunnen de organisaties op geattendeerd worden. Voordat de adviseur wordt ingeschakeld, kan een inventarisatie worden uitgevoerd op basis van de maatregelenlijst en de Multi Criteria Analyse in **bijlageboekje 3**, om te bepalen welke maatregelen mogelijk genomen kunnen worden in het specifieke project. De aan te nemen duurzaamheidscoördinator kan hier ook een rol in gaan spelen.

In **bijlage 4** zijn een aantal voorbeelden uitgewerkt voor het verwerken van CO₂-reducerende maatregelen in het Plan van Aanpak.

Daarnaast moet dit stroomschema getest worden met een aanbesteding. In de planning, in **bijlage 15**, is het testen van deze methode opgenomen.

2.1.4 Verantwoordelijkheden

De tendermanager van het project draagt de verantwoordelijkheid voor de uitvoering van het stroomschema in het tenderproces. Het is zijn of haar taak om de teamleden in het tenderteam te leiden en bij te sturen bij het toepassen van deze benadering, en de duurzaamheidscoördinator in te schakelen wanneer dit nodig is.

2.1.5 Conclusie

De tenderfase is een cruciale fase voor het project en heeft indirect invloed op de uiteindelijke uitvoering, aangezien er beslissingen worden genomen met betrekking tot financiën en de aanpak tijdens het inschrijvingsproces. Met betrekking tot het tenderproces kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- ▶ De eerste vragen die moeten worden gesteld na het ontvangen van de aanbestedingsdocumenten zijn: "Is er betonwerk aanwezig in het project?", zo ja: "Is duurzaamheid meegenomen als gunningscriteria of contracteis in de aanbestedingsstukken?";
- ▶ Er moet veelvuldig gebruik worden gemaakt van de Nota van Inlichtingen. Op deze manier kan de opdrachtgever gestimuleerd worden om aandacht te besteden aan duurzaamheidsaspecten. Hiervoor is het van belang om de aanpak van het stroomschema, toegevoegd in **bijlage 1**, te volgen;
- ▶ Daarnaast is het van essentieel belang om een adviseur in te schakelen bij het integreren van maatregelen in het Plan van Aanpak. Zo kan project specifiek worden gekeken naar CO₂-reducerende maatregelen in de betonketen;
- ▶ Voor het inschakelen van partners is in **bijlage 2** een lijstje opgenomen met ondertekenaars van het betonakkoord en in **bijlage 3** een lijstje met leveranciers en partners die al volop bezig zijn met de verduurzaming van beton;
- ▶ Voordat er een adviseur ingeschakeld wordt, kan er een inventarisatie worden uitgevoerd op basis van de maatregellijst en de Multi Criteria Analyse in **bijlageboekje 3**, om te bepalen welke maatregelen mogelijk genomen kunnen gaan worden in het specifieke project. Het is ook de bedoeling dat de duurzaamheidscoördinator hier een rol in gaat spelen;
- ▶ Daarnaast is het van belang om naast CO₂-reductie andere voordelen te benoemen van de te nemen maatregelen, zoals in kwaliteit, geld of risico's, aspecten die ook regelmatig als criteria bij beoordeling worden toegepast. Hiervan zijn in **bijlage 4** een aantal voorbeelden benoemd. In de maatregellijst zijn per maatregel ook de voordelen benoemd;
- ▶ De tendermanager is verantwoordelijk voor de uitvoering van het stroomschema;
- ▶ Het stroomschema moet getest worden met een aanbesteding, om te testen of het de gewenste resultaten oplevert;
- ▶ Bovenstaande opmerkingen kunnen bijdragen aan een positieve score op de beoordelingscriteria en dragen bij aan CO₂-reductie in de betonketen.

2.2 Inkoop en werkvoorbereiding

2.2.1 Toelichting op het proces

Als de aanbesteding is aangenomen komt het project in de inkoop- en voorbereidingsfase terecht. In deze fase worden alle benodigde stappen genomen om het project te realiseren, zoals het inschakelen van eventuele leveranciers of onderaannemers, het inkopen van materialen en het uitwerken van een definitief ontwerp in een uitvoeringsontwerp.

Deze fase is van groot belang voor het bevorderen van duurzaamheid in de betonketen, aangezien tijdens dit proces beslissingen worden genomen met betrekking tot materialen en partners.

2.2.2 Rol van de opdrachtgever

Tijdens de inkoop en werkvoorbereiding is de opdrachtgever inhoudelijk betrokken bij keuzes die invloed hebben op bijvoorbeeld financiën, risico's, planning en kwaliteit. Daarnaast draagt de opdrachtgever de verantwoordelijkheid voor de gevolgen van substantiële wijzigingen in het project. Als laatste moet de opdrachtgever goed geïnformeerd zijn over de voortgang van het project (Adviescollege ICT-toetsing, sd). In de inkoop- en werkvoorbereidingsfase speelt de opdrachtgever dus een grote rol in het maken van inhoudelijke beslissingen.

2.2.3 Methode - Stappenplan

In **bijlage 5** is een stappenplan opgenomen voor de werkvoorbereiding, in dit hoofdstuk zullen deze stappen verder toegelicht worden. In het kort zijn de stappen:

1. Checken van de beloftes in het Plan van Aanpak;
2. Inventariseren van het betonwerk;
3. Optimalisatie van het ontwerp;
4. Overleg(gen) met de opdrachtgever;
5. Uitwerken van het definitieve ontwerp;
6. Contacteren leveranciers en onderaannemers;
7. Beoordelen leveranciers en onderaannemers voor inkoopovereenkomst;
8. Beoordelen voor aanvang van de werkzaamheden;
9. Invullen stortplan in de registratie- en monitoringstool;
10. Checken van het stortplan- en formulier na de werkzaamheden.

Stap 1 – Checken van de beloftes in het Plan van Aanpak

Bij de start van de inkoop- en voorbereidingsfase is het essentieel om eerst het Plan van Aanpak zorgvuldig te doorlopen. Als er bijvoorbeeld toezeggingen zijn gedaan met betrekking tot beton en/of verduurzaming, is het noodzakelijk om deze beloftes daadwerkelijk na te komen tijdens het inkoop- en voorbereidingstraject.

Stap 2 – Inventariseren van het betonwerk

De tweede stap omvat het inventariseren van het betonwerk, waarvoor in **bijlage 6** een formulier is opgenomen. In dit formulier dienen alle componenten van het betonwerk te worden ingevuld, zowel voor in het werk gestort beton als voor prefab betonproducten. Voor elk onderdeel moet worden aangegeven of het gaat om een mengsel of een product. Indien dit nog niet is gedefinieerd, kan deze kolom leeg blijven. In het geval van prefab producten moet het specifieke type product worden ingevuld. Ook moet de verwachte

hoeveelheid in m³ beton worden ingevuld en de specifieke eisen die van toepassing zijn, zoals voorgeschreven afmetingen, leveranciers of sterkte- en milieuklassen of beloftes uit het Plan van Aanpak.

Stap 3 – Optimalisatie van het ontwerp

De derde stap omvat de optimalisatie van het ontwerp, met nadruk op de mengselsamenstelling en het materiaalgebruik. Het is hierbij van belang om een adviseur in te schakelen. Voorafgaand aan het betrekken van de adviseur kan de duurzaamheidscoördinator een inventarisatie uitvoeren op basis van de maatregellijst en de Multi Criteria Analyse uit **bijlageboekje 3**. Dit stelt hem of haar in staat te bepalen welke specifieke maatregelen voor dit project kunnen worden genomen. Bovendien moet worden vastgesteld of het betonwerk wordt uitgevoerd als prefab betonproduct of als in het werk gestort beton. Hoewel dit mogelijk al is gedefinieerd in de contracteisen, kan het voorkomen dat de andere oplossing duurzamer is. Dit kan worden vastgesteld met behulp van de registratie- en monitoringstool, waarin een prefab product en in het werk gestort beton met elkaar vergeleken kunnen worden. Daarbij is het wel van groot belang om de planning van het project goed in de gaten te houden. In de winter heeft prefabricage namelijk de voorkeur in duurzaamheidsopzicht (Aanen, Maatregellijst, 2023, p. 42).

Verder moet ook overwogen worden of het mogelijk is om in de winter te prefabriceren in de nieuwe loods van Van der Ven. Dit kan namelijk duurzamer uitpakken doordat er voldoende opslagcapaciteit en -tijd beschikbaar is, wat een positief effect kan hebben op het materiaalgebruik. Bovendien biedt het de bouwplaats medewerkers een aangename werkomgeving tijdens de winter.

Stap 4 – Overleg(gen) met de opdrachtgever

In de vierde stap moet het gesprek worden aangegaan met de opdrachtgever, en moeten belemmeringen in duurzame oplossingen in relatie tot specifieke eisen in het contract worden besproken. Dit kan bijvoorbeeld tijdens een bouwvergadering of een technisch overleg. Daarnaast moeten de duurzame voorstellen uit stap 3 worden besproken en moet er worden beslist welke voorstellen er daadwerkelijk doorgevoerd gaan worden in het ontwerp. Het is belangrijk dat deze keuzes worden vastgelegd, bijvoorbeeld in een verslag.

Stap 5 – Uitwerken van het definitieve ontwerp

In de vijfde stap moet het definitieve ontwerp, waaronder de besloten keuzes uit stap 4, worden uitgewerkt in een uitvoeringsontwerp. Het is van cruciaal belang om te verifiëren of alle gemaakte keuzes zijn geïmplementeerd in het ontwerp.

Stap 6 – Contacteren leveranciers en onderaannemer

Als het definitieve ontwerp is uitgewerkt is de volgende stap om onderaannemers en leveranciers voor het beton(werk) te contacteren. Aanbevolen partners zijn opgenomen in **bijlage 2 en 3**. Daarnaast dient de volgende tekst opgenomen te worden bij het uitvragen van offertes:

“Wij beoordelen uw offerte niet alleen op prijs, maar ook op de duurzaamheid van het product en het transport naar de bouwplaats. Daarom vragen wij u om de LCA van fase A1-A3 aan te leveren en een voorstel te doen voor duurzaam transport naar (en op) de bouwplaats. Een optimalisatie van het mengsel met betrekking tot duurzaamheid wordt positief beoordeeld”.

In **bijlage 7** is een brief toegevoegd met een invulformulier voor de gevraagde LCA-gegevens. Een toelichting hierop volgt in stap 7.

Stap 7 – Beoordelen leveranciers en onderaannemers voor inkoopovereenkomst

In stap 7 moet worden beoordeeld met welke leverancier of onderaannemer een inkoopovereenkomst wordt gesloten. Naast prijs moeten ook de duurzaamheidsvoorstellen worden beoordeeld.

In **bijlage 8** is een standaard inkoopovereenkomst opgenomen, met daarin aanvullingen op Artikel 6: Kwaliteit, Arbo en Milieuzaken. De aanvullingen zijn grijs gemarkeerd en bevatten de volgende punten:

1. De onderaannemer levert van elk betonproduct of elke betonstort de LCA-gegevens aan voor fase A1-A3 ten behoeve van de registratie van CO₂-emissies in de betonketen, conform bijlage 9. Tevens adviseert de onderaannemer ook in het verduurzamen van het betonmengsel of -product;
2. De onderaannemer doet een voorstel voor verduurzaming in het transport naar de bouwplaats;
3. De onderaannemer doet een voorstel voor het verminderen van de CO₂-uitstoot op de bouwplaats, veroorzaakt door zijn of haar werkzaamheden voor het betonwerk.

Voor het eerste punt, het aanleveren van de LCA-gegevens is de brief, opgenomen in bijlage 7, ook toegevoegd als bijlage aan de inkoopovereenkomst. Er zijn twee opties voor het aanleveren van de LCA-gegevens:

1. De betonleverancier of -producent levert een door hun zelf berekende LCA-waarde aan in kg CO₂ / m³ voor fase A1-A3;
2. De betonleverancier of -producent levert gedetailleerde gegevens aan voor 1 m³ betonmortel of voor één betonelement volgens het invulformulier uit bijlage 2 van de brief, zodat deze door Van der Ven in de registratie- en monitoringstool kan worden ingevuld.

Punt 4 in Artikel 6 van de standaard inkoopovereenkomst: “De onderaannemer zal alles in het werk stellen om zijn CO₂-uitstoot te beperken. Tevens stimuleert de onderaannemer dat alle betrokkenen proactief handelen ten aanzien van de beperking van de CO₂-uitstoot.” was al opgenomen in de inkoopovereenkomst. Deze voorwaarde blijft behouden.

Stap 8 – Beoordelen voor aanvang van de werkzaamheden

De volgende stap is het beoordelen voor aanvang van de werkzaamheden of er is voldaan aan de gestelde punten uit stap 7, de punten uit de inkoopovereenkomst. Dit is een startvoorwaarde voor het uitvoeren van de gestelde werkzaamheden of de leveranties.

Stap 9 - Invullen stortplan in de registratie- en monitoringstool

Vervolgens moet voor aanvang van de werkzaamheden of leveranties het stortplan worden ingevuld door de werkvoorbereider in de registratie- en monitoringstool. Voor in het werk gestort beton moet sheet 2 worden ingevuld, voor prefab producten sheet 4 (fase A1-A3). Als de LCA-waarde uit stap 6 is ontvangen is dit een eenvoudig proces. Voor de werkvoorbereiding is een instructie opgesteld voor het gebruik van de registratie- en monitoringstool, opgenomen in **bijlage 9**.

Stap 10 – Checken van het stortplan- en formulier na de werkzaamheden

Als laatste stap moet na de werkzaamheden worden gecheckt of het stortplan- en formulier naar werkelijkheid is ingevuld. De uitvoerder moet de gegevens van LCA fase A4 en A5 invullen in het stortformulier, dit is opgenomen in het stappenplan van de uitvoering. Vervolgens moeten de gegevens worden opgestuurd naar de duurzaamheidscoördinator voor verwerking in het totale jaaroverzicht van Van der Ven.

Daarnaast moet dit stappenplan getest worden tijdens de voorbereidingsfase van een project. In de planning, in **bijlage 15**, is het testen van deze methode opgenomen. Het invullen van de stortplannen- en formulieren is al getest tijdens de afstudeerperiode, de resultaten hiervan zijn opgenomen in **bijlageboekje 6**, communicatie.

Daarnaast moeten schijnoplossingen tijdens de implementatie worden voorkomen, dit is in het communicatieplan in hoofdstuk 3 opgenomen.

2.2.4 Verantwoordelijkheden

De projectleider van het project draagt de verantwoordelijkheid voor de uitvoering van het stappenplan in de voorbereidingsfase. Het is zijn of haar taak om de teamleden in het projectteam te leiden en bij te sturen bij het toepassen van deze benadering, en de duurzaamheidscoördinator in te schakelen wanneer dit nodig is.

2.2.5 Conclusie

De inkoop- en werkvoorbereidingsfase vormt een essentiële fase en heeft direct invloed op de uiteindelijke uitvoering. Tijdens deze fase worden er beslissingen genomen met betrekking tot de keuze van leveranciers en onderaannemers, materiaalkeuze en het uitwerken van het definitieve ontwerp. In verband met de inkoop- en werkvoorbereidingsfase kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- ▶ Het is van essentieel belang om het stappenplan, opgenomen in **bijlage 5** te volgen;
- ▶ De eerste stap na het ontvangen van de gunning is het checken van de beloftes in het Plan van Aanpak;
- ▶ Vervolgens moet het betonwerk uitgebreid geïnventariseerd worden;
- ▶ Daarna is het van essentieel belang om een adviseur in te schakelen bij het integreren van maatregelen in het definitief ontwerp. Zo kan project specifiek worden gekeken naar CO₂-reducerende maatregelen in de betonketen, met betrekking tot mengselsamenstelling en materiaalgebruik. Ook moet er een keuze worden gemaakt in prefab of in het werk gestort beton;
- ▶ De volgende belangrijke stap is het gesprek aangaan met de opdrachtgever om duurzame oplossingen vast te kunnen leggen om te verwerken in het definitief ontwerp;
- ▶ Voor het inschakelen van partners is in **bijlage 2** een lijstje opgenomen met ondertekenaars van het Betonakkoord en in **bijlage 3** een lijstje met leveranciers en partners die al volop bezig zijn met de verduurzaming van beton. Daarnaast zijn er in **bijlage 7 en 8** hulpmiddelen toegevoegd voor het komen tot een duurzame inkoopovereenkomst;
- ▶ Voor de werkzaamheden moet worden gecontroleerd of de leverancier of onderaannemer aan de inkoopvoorwaarden heeft voldaan. Dit is een startvoorwaarde voor de uitvoering van de werkzaamheden of leveranties;
- ▶ Daarnaast heeft het projectteam de taak om het stortplan- en formulier zorgvuldig in te vullen en te controleren voor het verzamelen van de CO₂-uitstootgegevens van Van der Ven;
- ▶ Het stappenplan moet getest worden in de voorbereidingsfase van een project, om te testen of het de gewenste resultaten oplevert;
- ▶ De projectleider is verantwoordelijk voor de uitvoering van het stappenplan;
- ▶ Bovenstaande opmerkingen kunnen bijdragen aan een verduurzaming van de betonwerk in het project, en dragen bij aan CO₂-reductie in de betonketen.

2.3 Uitvoering

2.3.1 Toelichting op het proces

Na de voorbereidingsfase gaat het project de realisatiefase in. In deze fase kan er met de daadwerkelijke uitvoering worden begonnen en wordt er bijvoorbeeld beton gestort of worden er betonproducten geplaatst.

Ondanks een grondige voorbereiding blijft waakzaamheid geboden. Gedurende de uitvoering moet er toezicht worden gehouden op de contractstukken en zal er indien nodig andere partijen, zoals de constructeur en/of de lokale overheid bij het bouwproces betrokken worden. Kwaliteit, budget, planning en naleving van afspraken, specifiek als het gaat over verduurzaming in de betonketen moeten voortdurend worden bewaakt, waardoor eventuele knelpunten snel kunnen worden geïdentificeerd en opgelost. Deze fase is daarom van groot belang voor de daadwerkelijke uitvoering van de verduurzaming in de betonketen.

2.3.2 Rol van de opdrachtgever

Tijdens de realisatie is de opdrachtgever verantwoordelijk voor de uitvoering van het project. Hiervoor is het wenselijk om directie te voeren, oftewel: toezicht houden op de uitvoering van het bouwproject en de naleving van de aannemingsovereenkomst.

2.3.3 Methode – Stappenplan

In [bijlage 10](#) is een stappenplan opgenomen voor de uitvoering, in dit hoofdstuk zullen deze stappen verder toegelicht worden. In het kort zijn de stappen:

1. Beoordelen voor aanvang van de werkzaamheden of de leverancier en/of onderaannemer heeft voldaan aan de gestelde punten uit de inkoopovereenkomst;
2. Controleren of het stortplan is ingevuld;
3. Controleren of de werkzaamheden kunnen uitgevoerd zoals bedacht;
4. Ingangscontrole;
5. Controleren tijdens de uitvoering;
6. Invullen van het stortformulier;
7. Delen van het ingevulde stortformulier.

Veel stappen uit het stappenplan zijn al standaard in de uitvoering. De aanpassing komt echter tot uiting in de toegevoegde aspecten met betrekking tot de verduurzaming in de betonketen.

Stap 1 – Beoordelen voor aanvang van de werkzaamheden

De eerste stap is het beoordelen voor aanvang van de werkzaamheden of er is voldaan aan de gestelde punten uit de inkoopovereenkomst. Dit is een startvoorwaarde voor het uitvoeren van de gestelde werkzaamheden of de leveranties. Deze stap is tevens opgenomen in het stappenplan van de werkvoorbereiding, maar omdat dit een startvoorwaarde is voor de werkzaamheden is het van wezenlijk belang dat deze stap extra wordt gecontroleerd.

Stap 2 – Controle op het stortplan

De volgende stap is ook een extra controle op de werkvoorbereider. De uitvoerder moet namelijk controleren of het stortplan in de registratie- en monitoringstool door de werkvoorbereider is ingevuld voor aanvang van de werkzaamheden.

Stap 3 – Controle of de werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd als bedacht

De laatste controle voor aanvang van de werkzaamheden is de controle of de werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd zoals bedacht. Er kunnen bijvoorbeeld weersomstandigheden zijn die de mengsamenstelling van het beton kunnen beïnvloeden, of er kunnen in de uitvoering aanpassingen in de materieelhoeveelheden of de planning plaatsvinden. Deze aanpassingen kunnen een negatieve invloed uitoefenen op de CO₂-uitstoot, en daarom is het van belang om te controleren of de werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd zoals bedacht. Als dit niet het geval is moet er eerst met het projectteam en de opdrachtgever aan tafel worden gegaan, alvorens de uitvoering start. Er moet worden besproken hoe de oorspronkelijke bedachte duurzame oplossingen toch kunnen worden bereikt.

Stap 4 – Ingangscontrole

De vierde stap is de ingangscontrole. Dit is al een standaard stap in de uitvoering, maar met betrekking tot de verduurzaming in de betonketen een hele belangrijke. Voor aanvang van de betonstort moet namelijk worden gecontroleerd of de afleverbon voldoet aan het bestelde (duurzame) betonmengsel. In het geval van een leverantie van betonproducten moet er worden gecontroleerd of de betonproducten zijn geleverd zoals besteld, alvorens er een handtekening wordt gezet op de bon. Als de levering van het beton(product) afwijkend is van het ontwerp kan er namelijk niet gestart worden met de werkzaamheden.

Stap 5 – Controle tijdens de uitvoering

Als stap 3 en 4 gewaarborgd zijn start de uitvoering. Ook tijdens de uitvoering moet er gecontroleerd worden of de werkzaamheden worden uitgevoerd zoals besproken is, specifiek op het gebied van duurzaamheid.

Stap 6 – Invullen van het stortformulier

Vervolgens moet tijdens, of direct na aanvang van de werkzaamheden of leveranties het stortformulier worden ingevuld in de registratie- en monitoringstool. Voor in het werk gestort beton moet sheet 3 worden ingevuld, voor prefab producten sheet 4 (fase A4-A5). Voor de uitvoering is een instructie voor het gebruik van de registratie- en monitoringstool opgenomen in [bijlage 9](#).

Stap 7 – Delen van het ingevulde stortformulier

Als laatste stap moet het ingevulde stortformulier gedeeld worden met de werkvoorbereider van het project. Zo kan de werkvoorbereider stap 10 uit het stappenplan werkvoorbereiding afronden: het controleren na de werkzaamheden of het stortplan- en formulier naar werkelijkheid zijn ingevuld voor de verwerking in de totaal sheet door de duurzaamheidscoördinator.

Daarnaast moet dit stappenplan getest worden tijdens de uitvoeringsfase van een project. In de planning, in [bijlage 15](#), is het testen van deze methode opgenomen. Het invullen van de stortplannen- en formulieren is al getest tijdens de afstudeerperiode, de resultaten hiervan zijn opgenomen in bijlageboekje 6, communicatie.

2.3.4 Verantwoordelijkheden

De projectleider van het project draagt de verantwoordelijkheid voor de uitvoering van het stappenplan in de uitvoeringsfase. Het is zijn of haar taak om de teamleden, waaronder de uitvoerder, in het projectteam te leiden en bij te sturen bij het toepassen van deze benadering, en de duurzaamheidscoördinator in te schakelen wanneer dit nodig is.

2.3.5 Conclusie

De inkoop- en werkvoorbereidingsfase vormt een essentiële fase en heeft direct invloed op de uiteindelijke uitvoering. Tijdens deze fase worden er beslissingen genomen met betrekking tot de keuze van leveranciers en onderaannemers, materiaalkeuze en het uitwerken van het definitieve ontwerp. In verband met de inkoop- en werkvoorbereidingsfase kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- ▶ Het is van essentieel belang om het stappenplan, opgenomen in **bijlage 10** te volgen;
- ▶ Stap 1 t/m 5 zijn controlemomenten, zowel voor als tijdens de aanvang van de werkzaamheden;
- ▶ De eerste 4 stappen dienen als startvoorwaarde voor de uitvoering van de werkzaamheden;
- ▶ Veel stappen uit het stappenplan zijn al standaard in de uitvoering. De aanpassing komt echter tot uiting in de toegevoegde aspecten met betrekking tot de verduurzaming in de betonketen;
- ▶ Daarnaast heeft het projectteam de taak om het stortplan- en formulier zorgvuldig in te vullen en te controleren voor het verzamelen van de CO₂-uitstootgegevens van Van der Ven;
- ▶ Het stappenplan moet getest worden in de uitvoeringsfase, om te testen of het de gewenste resultaten oplevert;
- ▶ De projectleider is verantwoordelijk voor de uitvoering van het stappenplan;
- ▶ Bovenstaande opmerkingen kunnen bijdragen aan een verduurzaming van de betonwerk in het project, en dragen bij aan CO₂-reductie in de betonketen.

2.4 Evaluatie

2.4.1 Toelichting op het proces

Na de voorbereidings- en realisatiefase van een project is het moment aangebroken voor de evaluatie van het project. Zeker met betrekking tot implementatie is de evaluatie een zeer belangrijk proces, en moeten de volgende vragen gesteld worden: hebben de geïmplementeerde CO₂-reducerende maatregelen de gewenste resultaten opgeleverd? Wat ging er goed, en waar is er verbetering nodig? Het stellen van deze vragen kan zeer waardevolle informatie opleveren voor toekomstige projecten.

Naast de evaluatie op projectniveau moet er ook jaarlijks worden geëvalueerd op de jaarcijfers met betrekking tot de CO₂-reductie uit de registratie- en monitoringstool. Dit is nodig om de doelstelling: *“Het realiseren van een vermindering van de CO₂-uitstoot in de betonketen met 20%, per bestede € in 2030 ten opzichte van 2024, met de ambitie naar 40% reductie”* aantoonbaar te kunnen behalen. Deze cijfers moeten jaarlijks door de afdeling KAM, met in het bijzonder de duurzaamheidscoördinator verzameld worden voor rapportage aan de directie.

Beide processen, zowel de evaluatie op projectniveau als op jaarniveau voor Van der Ven, zullen worden besproken in dit hoofdstuk.

2.4.2 Rol van de opdrachtgever

In de evaluatiefase zijn er twee verschillende opdrachtgevers betrokken. Voor de evaluatie op projectniveau is dit de desbetreffend opdrachtgever van het project. Voor de evaluatie op jaarniveau van Van der Ven is dit de directie van Van der Ven. Per opdrachtgever zal zijn of haar rol kort worden toegelicht:

Voor de project specifieke evaluatie zijn er momenteel drie formulieren beschikbaar. Een klanttevredenheidsformulier, een leveranciersbeoordeling en een projectevaluatieformulier. De projectevaluatie en de leveranciersbeoordeling worden intern binnen het projectteam uitgevoerd. Van der Ven verzoekt de opdrachtgever om het klanttevredenheidsformulier in te vullen, waarop zowel het project op projectmatig niveau als de algemene indruk van Van der Ven beoordeeld kunnen worden, en verbeterpunten kunnen worden geformuleerd. Daarnaast kan de opdrachtgever ook nog een interne evaluatie uitvoeren.

De rol van de opdrachtgever voor de evaluatie op jaarniveau voor Van der Ven, de directie, is het beoordelen van de bereikte jaarresultaten.

2.4.3 Methode (1) – Stappenplan

In [bijlage 11](#) is een stappenplan opgenomen voor de projectevaluatie, in dit hoofdstuk zullen deze stappen verder toegelicht worden. In het kort zijn de stappen:

1. Versturen van het formulier klanttevredenheidsonderzoek naar de opdrachtgever;
2. Inplannen van de interne projectevaluatie met het projectteam;
3. Invullen van het formulier leveranciersbeoordeling tijdens de projectevaluatie;
4. Invullen van het projectevaluatieformulier tijdens de projectevaluatie;
5. Delen van de projectevaluatieformulieren met de duurzaamheidscoördinator;
6. Terugkoppelen van de punten uit de projectevaluatie met het tenderteam.

Veel stappen uit het stappenplan zijn al standaard in de projectevaluatie. De aanpassing komt echter tot uiting in de toegevoegde aspecten met betrekking tot de verduurzaming in de betonketen.

Stap 1 – Versturen van het formulier klanttevredenheidsonderzoek

De allereerste stap voor de projectevaluatie is het versturen van het formulier klanttevredenheidsonderzoek naar de opdrachtgever. Dit formulier is gespecificeerd naar CO₂-reductie in de betonketen en opgenomen in **bijlage 13**. Dit is een taak voor de projectleider van het desbetreffende project.

Stap 2 – Inplannen projectevaluatie

De volgende stap is het inplannen van de interne projectevaluatie met het projectteam. Dit kan wanneer het formulier van het klanttevredenheidsformulier, ingevuld door de opdrachtgever, retour is ontvangen. Ook dit is een taak voor de projectleider van het desbetreffende project.

Stap 3 – Invullen van het formulier leveranciersbeoordeling

Tijdens de interne projectevaluatie moet voor elke leverancier en onderaannemer met betrekking tot beton de leveranciersbeoordeling ingevuld worden. In dit formulier, opgenomen in **bijlage 13**, zijn specifieke criteria opgenomen met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen.

Hoewel de normale procedure is om voor 1 op de 5 leveranciers dit formulier in te vullen, is er voor gekozen om dit met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen dit voor alle leveranciers te doen, om zo in korte tijd voldoende referenties te kunnen opbouwen.

Stap 4 – Invullen van het projectevaluatieformulier

Naast het formulier leveranciersbeoordeling moet tijdens de projectevaluatie ook het projectevaluatieformulier worden ingevuld. Ook in dit formulier is er een specifiek criterium opgenomen met betrekking tot CO₂-reductie in de betonketen. Het aangepaste formulier is opgenomen in **bijlage 13**.

Stap 5 – Delen van de projectevaluatieformulieren

De volgende stap is het delen van de projectevaluatieformulieren met de duurzaamheidscoördinator. De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor het archiveren van de documenten en de communicatie richting de directie.

Stap 6 – Terugkoppelen projectevaluatie

De laatste stap uit het stappenplan is het terugkoppelen van de punten uit de projectevaluatie naar het tenderteam. Deze feedback is van essentieel belang om in toekomstige aanbestedingen te verwerken.

Daarnaast moet dit stappenplan getest worden tijdens de evaluatiefase van een project. In de planning, in **bijlage 15**, is het testen van deze methode opgenomen.

2.4.3 Methode (2) - Stappenplan

In **bijlage 12** is een stappenplan opgenomen voor de jaarevaluatie van Van der Ven, in dit hoofdstuk zullen deze stappen verder toegelicht worden. In het kort zijn de stappen:

1. Verwerken van de jaargegevens CO₂ in het overzicht van de totale CO₂-uitstoot;
2. Completeren van het jaaroverzicht aan het einde van het jaar;
3. Jaarevaluatie met de directie en de afdeling KAM;

4. Verwerken van de uitkomsten van de evaluatie in het Jaarplan KAM;
5. Herhaal dit stappenplan elk jaar.

Stap 1 – Verwerken van de jaargegevens CO₂ in het overzicht van de totale CO₂-uitstoot

De eerste stap is het verwerken van de ontvangen CO₂-uitstootgegevens per project voor de betonmengsels en prefab betonproducten in het overzicht van de totale CO₂-uitstoot (sheet 6 van de registratie- en monitoringstool). Dit is de taak van de duurzaamheidscoördinator, die deze gegevens ontvangt van de werkvoorbereiders van de desbetreffende projecten.

Stap 2 – Completeren van het jaaroverzicht

De volgende stap is het completeren van het jaaroverzicht aan het einde van het jaar, met daarin: de totale CO₂-uitstoot van het desbetreffende jaar, de CO₂-uitstoot per project, het aandeel prefab en mortel, de vergelijking met de gemiddelde samenstelling en wanneer mogelijk een vergelijking met het voorgaande jaar. Deze gegevens worden automatisch berekend door het invullen van sheet 6 van de registratie- en monitoringstool.

Stap 3 – Jaarevaluatie

Vervolgens moet de jaarevaluatie worden ingepland met de directie en de afdeling KAM. Hiervoor is een formulier opgesteld, opgenomen in **bijlage 13**, welke tijdens deze evaluatie ingevuld moet worden. In dit formulier moeten de jaar- en projectgegevens ingevuld worden, en moet per activiteit geëvalueerd worden wat er goed ging, en wat er nog beter kan. Er zijn ook specifieke criteria opgenomen met betrekking tot dit implementatieplan, zoals: is de doelstelling haalbaar binnen 10 jaar, en waarom? Wat is de voortgang van de planning van het implementatieplan? Hoe verloopt de taakverdeling van het implementatieplan? Hoe gaat het met de implementatie van de methodes: de stappenplannen en het stroomschema? Hoe gaat het met de interne en externe communicatie? En, werkt de registratie- en monitoringstool naar behoren?

Stap 4 – Verwerken van de evaluatie uitkomsten in het Jaarplan KAM

Na de evaluatie moeten de uitkomsten van de evaluatie in het Jaarplan KAM worden verwerkt. Wanneer nodig moet het Plan van Aanpak of de doelstellingen bijgesteld worden voor het nieuwe jaar.

Stap 5 – Herhaal dit stappenplan elk jaar

Dit stappenplan moet elk jaar opnieuw herhaald worden, om tussentijds goed te kunnen monitoren of de doelstelling van dit onderzoek behaald kan worden, en of hiervoor nog aanpassingen voor nodig zijn in het Plan van Aanpak. Daarnaast is het essentieel om te evalueren hoe de implementatie verloopt.

Daarnaast moet dit stappenplan getest worden tijdens de evaluatiefase van een project. In de planning, in **bijlage 15**, is het testen van deze methode opgenomen.

2.4.4 Verantwoordelijkheden

De projectleider van het project draagt de verantwoordelijkheid voor de uitvoering van het stappenplan in de projectevaluatie fase. De duurzaamheidscoördinator draagt de verantwoordelijkheid voor de uitvoering van het stappenplan voor de jaarevaluatie fase.

2.4.5 Conclusie

De evaluatiefase vormt de laatste essentiële fase van een project, maar is ook zeker met betrekking tot implementatie een zeer belangrijk proces. Omdat deze fase van een project in de praktijk nu nog vaak overgeslagen wordt is het van essentieel belang dat dit met de implementatie niet meer gebeurt, en daarom is er een stappenplan opgesteld. De evaluatiefase is onder te verdelen in twee processen, namelijk: de projectevaluatie en de jaarevaluatie. In de projectevaluatie wordt er project specifiek geëvalueerd op de criteria met betrekking tot CO₂-reductie van beton. In de jaarevaluatie worden de CO₂-uitstootgegevens van het gehele jaar geëvalueerd. Met betrekking tot de evaluatiefase kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- ▶ Het is van essentieel belang om het stappenplannen, opgenomen in **bijlage 11 en 12** te volgen;
- ▶ De evaluatie is een zeer belangrijk proces, en mag niet overgeslagen worden, zeker met betrekking op implementatie;
- ▶ De formulieren ten behoeve van de evaluatie zijn opgenomen in **bijlage 13**;
- ▶ Het stappenplan moet getest worden in de evaluatiefase, om te testen of het de gewenste resultaten oplevert;
- ▶ De projectleider is verantwoordelijk voor de uitvoering van het stappenplan voor de projectevaluatie, de duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de uitvoering van het stappenplan voor de jaarevaluatie;
- ▶ Voor het behalen van de doelstelling van dit onderzoek is het jaarlijks uitvoeren van de jaarevaluatie van essentieel belang;
- ▶ Bovenstaande opmerkingen kunnen bijdragen aan een verduurzaming van de betonwerk in het project, en dragen bij aan CO₂-reductie in de betonketen.

3. Communicatieplan

Het is van groot belang dat alle betrokkenen bij de implementatie goed op de hoogte zijn, begrijpen wat hun taken zijn, de reden achter de implementatie begrijpen en weten wanneer specifieke activiteiten moeten worden uitgevoerd. Daarom is tabel 1 is het communicatieplan opgenomen. In dit plan wordt per doelgroep bepaald welke informatie zij moeten hebben, welk doel hiermee wordt nagestreefd en welke communicatiemiddelen hiervoor worden ingezet.

Tabel 1
 Communicatieplan

Doelgroep	Doel	Boodschap	Communicatie-middel(en)
Bedrijfsbureau (werkvoorbereiding en projectleiding)	Projectteams kennen het stappenplan voor de inkoop- en voorbereiding, en weten hoe ze de in de registratie- en monitoringstool moeten invullen. Daarnaast bezitten ze ook de basiskennis van beton m.b.t. CO ₂ -reductie. Als laatste voorkomen ze het uitvragen van schijnoplossingen.	<ul style="list-style-type: none"> - Basiskennis beton i.r.t. CO₂-reductie; - Innovaties op de markt; - Introductie stappenplan; - Voorkomen schijnoplossingen; - Instructie registratie- en Monitoringstool. 	Presentatie tijdens het bedrijfsbureau-overleg; E-mail; Cursus CO ₂ arm aanbieden / uitvragen.
Uitvoerders	Uitvoerders kennen het stappenplan voor de uitvoering, en weten hoe ze de registratie- en monitoringstool moeten invullen. Daarnaast bezitten ze ook de basiskennis van beton m.b.t. CO ₂ -reductie.	<ul style="list-style-type: none"> - Introductie stappenplan; - Instructie registratie- en Monitoringstool; - Basiskennis beton i.r.t. CO₂-reductie. 	Presentatie tijdens het uitvoerings-overleg; Cursus basiskennis beton; E-mail; Excursie aan productielocatie.
Tenderafdeling	Tenderteams kennen het stroomschema voor het tenderproces, en weten hoe ze CO ₂ -reductie van beton kunnen verwerken in het Plan van Aanpak.	<ul style="list-style-type: none"> - Introductie stroomschema; - Verwerking van duurzame oplossingen in het Plan van Aanpak. 	Persoonlijke uitleg op de tenderafdeling; Cursus CO ₂ arm aanbieden / uitvragen.
Directie	De directie staat achter de te implementeren stappen voor	- Toelichting op Implementatieplan.	Persoonlijke toelichting.

	de verduurzaming van de betonketen.		
Afdeling KAM	De afdeling KAM weet welke stappen er moeten worden gezet m.b.t. CO ₂ -reductie in de betonketen, en waarborgen de implementatie en registratie- en monitoring samen met de duurzaamheidscoördinator.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementatieplan, inclusief waarborging; - Verantwoordelijkheid voor de jaarcijfers uit de registratie- en monitoringstool. 	Persoonlijke uitleg op de afdeling KAM.
Duurzaamheidscoördinator	De duurzaamheidscoördinator kent zijn taken en verantwoordelijkheden met betrekking tot de implementatie van dit onderzoek, en kan advies geven m.b.t. duurzame oplossingen in het betonwerk.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementatieplan, inclusief waarborging; - Verantwoordelijkheid voor de jaarcijfers uit de registratie- en monitoringstool; - Kennis m.b.t. CO₂-reducerende maatregelen voor beton. 	Persoonlijke overdracht na het afronden van dit onderzoek aan de nieuw aangestelde duurzaamheidscoördinator; Cursus: basiskennis beton.
Leveranciers	Leveranciers weten welke input ze moeten leveren m.b.t. LCA-gegevens van hun producten, en weten welke aanvullende voorwaarden er gelden voor de verduurzaming voor het beton.	<ul style="list-style-type: none"> - Aanleveren LCA-gegevens beton(producten); - Aanvullende inkoopvoorwaarden m.b.t. verduurzaming van de betonketen. 	Brief in bijlage 7, E-mail contact over voorwaarden inkoop.

De communicatiemiddelen zijn opgenomen in de bijlagen van dit document. De presentaties voor het bedrijfsbureau- en uitvoeringsoverleg zijn opgenomen in **bijlageboekje 6**, communicatie.

Daarnaast wordt er voor de cursussen geïnventariseerd hoeveel interesse er is tijdens de presentaties voor het uitvoeringsoverleg en het bedrijfsbureau. Op basis hiervan worden de cursussen ingepland.

4. Beheersplan

4.1 Planning en taakverdeling

In tabel 2 is de taakverdeling weergegeven van de activiteiten die voortvloeien uit dit implementatieplan. Bij de uitvoering van het stroomschema en de stappenplannen horen onderliggende taken, die niet in deze tabel zijn vermeld. De verantwoordelijke van de bovenliggende activiteit is namelijk verantwoordelijk voor de aansturing van de juiste personen voor deze taken.

Tabel 2
 Taakverdeling

Activiteit	Verantwoordelijke	Uitvoering door	Deadline
Uitvoering communicatieplan.	Hester Aanen	Hester Aanen	05-02-2024
Overdracht implementatieplan naar afdeling KAM; duurzaamheidscoördinator.	Hester Aanen	Hester Aanen	05-02-2024
Toekomstbestendig houden registratie- en monitoringstool: - Nieuwe data toevoegen; - Innovaties toevoegen.	Duurzaamheidscoördinator	Duurzaamheidscoördinator	Doorlopend
Testen uitvoeren m.b.t. methodes implementatieplan inclusief nulmeting.	Duurzaamheidscoördinator	Verantwoordelijke per proces	31-12-2024
Verificatie risicoanalyse.	Duurzaamheidscoördinator	Duurzaamheidscoördinator	Elk kwartaal
Uitvoering implementatieplan incl. beheersing planning:	Duurzaamheidscoördinator	Verantwoordelijke per proces	Doorlopend
Uitvoering stroomschema tenderfase;	Tendermanager	Tenderteamleden	Doorlopend per tender
Uitvoering stappenplan werkvoorbereiding;	Projectleider	Projectteamleden	Doorlopend per project
Uitvoering stappenplan uitvoering;	Projectleider	Projectteamleden	Doorlopend per project
Uitvoering stappenplan projectevaluatie;	Projectleider	Projectleider	Doorlopend per project
Uitvoering stappenplan jaarevaluatie.	Duurzaamheidscoördinator	Duurzaamheidscoördinator	Elk einde van het jaar

In [bijlage 15](#) is de implementatieplanning opgenomen voor 2024. In deze planning zijn de onderdelen voor de uitvoering van het implementatieplan opgenomen, zoals de activiteiten uit het communicatie- en het beheersplan. In 2024 staat de uitvoering van de nulmeting centraal. Deze meting is cruciaal om aan te tonen waar Van der Ven zich bevindt zonder de implementatie van maatregelen en vormt de basis voor het aantoonbaar behalen van de reductiedoelstelling. De berekening uit de scope 3 analyse is namelijk niet voldoende betrouwbaar. Het focuspunt in 2024 ligt dus voornamelijk op het uitvoeren van de nulmeting, en daarnaast op het registreren van CO₂-uitstootgegevens en het testen van het implementatieplan.

In 2025 zal de daadwerkelijke implementatie van start gaan. Dit betekent echter niet dat er in 2024 geen maatregelen kunnen worden genomen om de CO₂-uitstoot te verminderen. Deze reducerende maatregelen komen namelijk ook naar voren tijdens het testen van de stappenplannen. Het is wel belangrijk dat voor de nulmeting de oorspronkelijke cijfers, zonder de toepassing van CO₂-reducerende maatregelen, worden toegepast, om een onzuivere nulmeting te voorkomen.

Bovendien is het in 2024 essentieel om pilots uit te voeren met innovaties, zoals opgenomen in het tweede deel van de planning, samen met andere maatregelen die in deze periode worden geïmplementeerd. Dit stelt Van der Ven in staat om in 2025 met deze innovaties aan de slag te gaan.

Daarnaast is er ook een planning toegevoegd vanaf het jaar 2025, specifiek voor de implementeren maatregelen. Deze planning is opgenomen in [bijlage 15](#).

4.2 Beheersing van de planning

Om de implementatie te laten verlopen volgens planning is het communicatieplan en het hoofdstuk planning en taakverdeling opgesteld. De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de beheersing van de planning en eventuele bijsturing. Dit komt ook terug in het stappenplan jaarevaluatie.

4.3 Budget

In tabel 3 is een budgetplanning opgenomen met daarin de verwachte kosten voor implementatie met betrekking tot arbeid:

Tabel 3
Kosten arbeid t.b.v. implementatie

Kosten arbeid					
Arbeid	Tarief / uur	Omschrijving werkzaamheden	Uren / week	Kosten / week	Kosten / jaar
Duurzaamheids-coördinator		Implementatie plan, bijhouden registratie- en monitoring			
KAM-coördinator		Divers			
Uitvoerder		Invullen stortformulier			
Werkvoorbereider		Invullen stortplan			
Externe adviseur		Advies voorbereidingsfase			
Totaal					

De bovenstaande tabel heeft wel een kanttekening. De extra uren voor de KAM-coördinator, uitvoerder en werkvoorbereider zullen niet resulteren in extra uren per werkweek, waardoor het maar de vraag is of deze geteld moeten worden. Voor de duurzaamheidscoördinator geldt dit niet omdat die nog aangenomen moet worden, en voor de externe adviseur die ingehuurd moet worden. Deze tabel moet daarom vooral een indicatie geven van de bestede uren.

Daarnaast zijn er nog eventuele opleidingskosten voor de cursussen CO₂-arm aanbieden / uitvragen en de cursus Basiskennis beton. Omdat het nog niet zeker is of deze cursussen daadwerkelijk ingepland gaan worden, is er uitgegaan van een verwachte kostenpost van €10.000,00-.

De kosten met betrekking op de te implementeren maatregelen zijn in hoofdstuk 7.4 van de scriptie in kaart gebracht door middel van de kostencurves methode. Dit is een methode om kosteneffectiviteit van milieumaatregelen te berekenen. In een kostencurve is de kosteneffectiviteit weergegeven als functie van (in het geval van dit onderzoek) de hoeveelheid CO₂ (Rijkswaterstaat, 2023). Het is de verwachting dat in

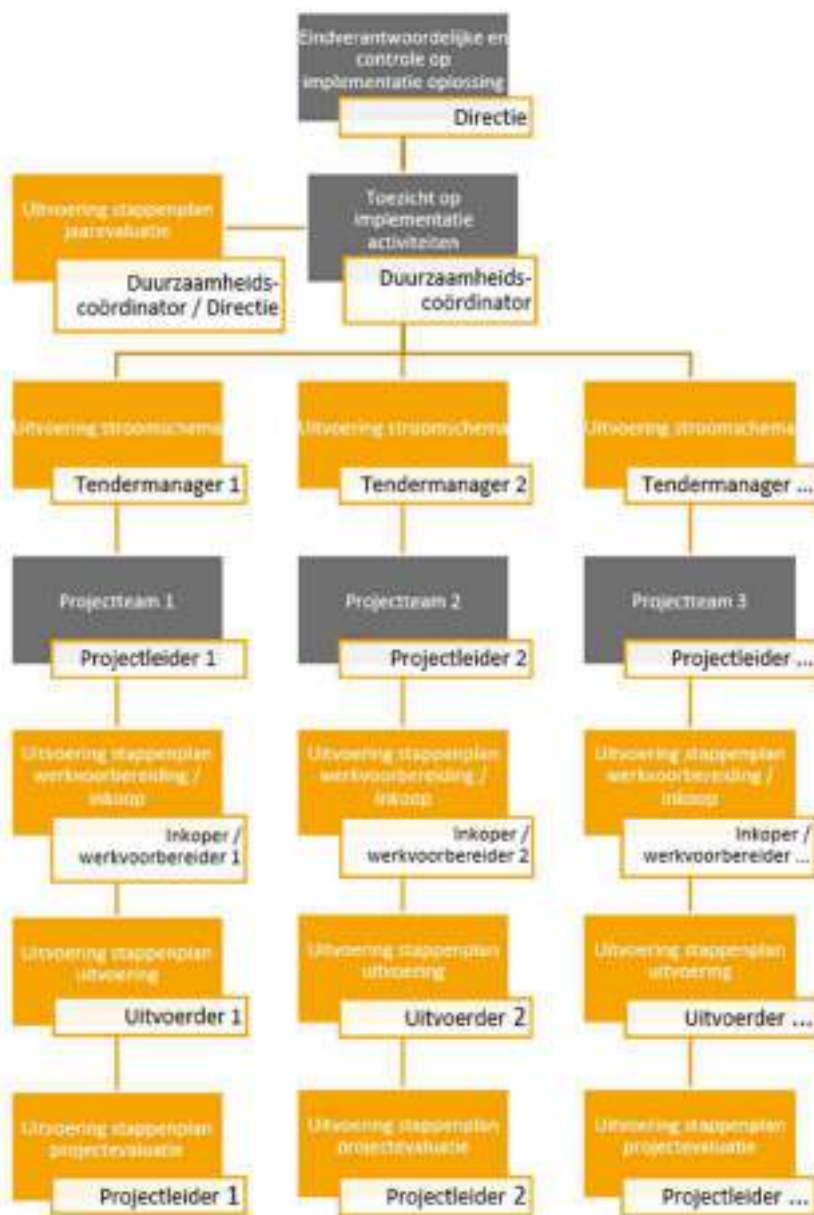
de periode 2025-2030 de kosteneffectiviteit verloopt van positief (extra kosten door implementatie) naar negatief / neutraal (geen extra kosten / winst door implementatie) in 2030.

4.4 Budgetbeheersing

De duurzaamheidscoördinator is verantwoordelijk voor de budgetbeheersing. Dit is ook meegenomen in het formulier van de jaarevaluatie, waarin elk jaar samen met de directie op de implementatie wordt geëvalueerd.

4.5 Organisatie

Figuur 2 toont de vereiste projectorganisatie en -structuur voor implementatie. Voor elke betrokkene wordt beschreven welke taken van hen worden verwacht.



Figuur 2: Organisatiestructuur implementatieplan

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Stroomdiagram voor de tenderafdeling.....	8
Figuur 2: Organisatiestructuur implementatieplan.....	28

Tabellijst

Tabel 1: Communicatieplan	24
Tabel 2: Taakverdeling.....	26
Tabel 3: Kosten arbeid t.b.v. implementatie	27

Literatuurlijst

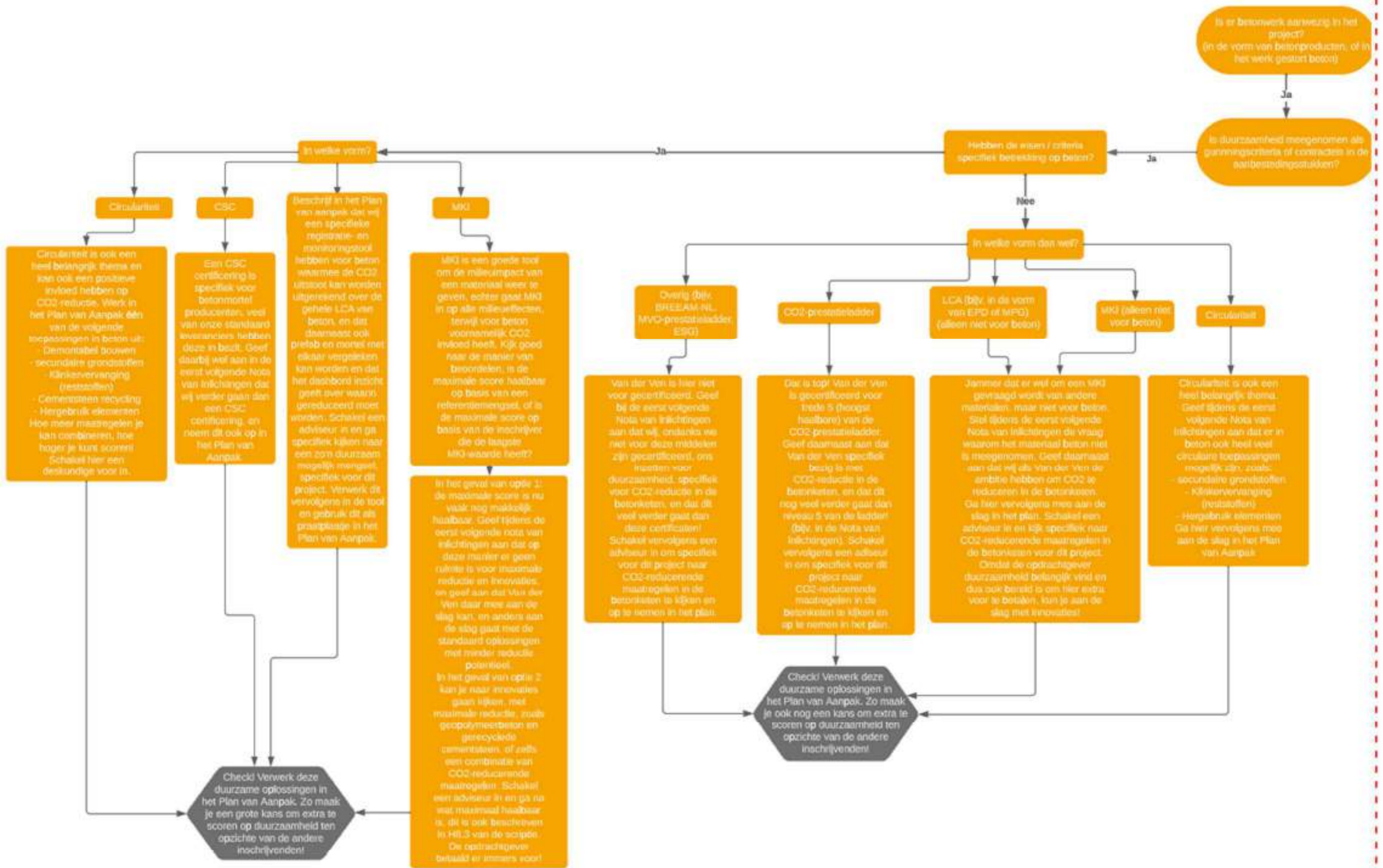
- ▶ Aanen, H. (2023). *Communicatie*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Aanen, H. (2023). *Maatregellijst*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Adviescollege ICT-toetsing. (sd). *Opdrachtgever en projectorganisatie*. Opgeroepen op 12 december, 2023, van Adviescollege ICT-toetsing: [https://www.adviescollegeicttoetsing.nl/onze-werkwijze/toetskader/opdrachtgever-en-projectorganisatie#:~:text=De%20opdrachtgever%20is%20eindverantwoordelijk%20voor,bij\)sturing%20op%20het%20project.](https://www.adviescollegeicttoetsing.nl/onze-werkwijze/toetskader/opdrachtgever-en-projectorganisatie#:~:text=De%20opdrachtgever%20is%20eindverantwoordelijk%20voor,bij)sturing%20op%20het%20project.)
- ▶ House of tenders. (sd). *Wat is een tender?* Opgeroepen op 8 december, 2023, van House of tenders: <https://houseoftenders.nl/kennisbank/wat-is-een-tender/>
- ▶ L. Benders & Scharwächter, V. (2023, maart 24). *Een implementatieplan voor je scriptie of adviesrapport*. Opgeroepen op 11 december, 2023, van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/scriptie-structuur/implementatieplan/>
- ▶ Rijkswaterstaat . (2023, 1 december). *Methoden om kosteneffectiviteit te bepalen*. Opgeroepen op 12 december, van Infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/lucht/digitale-ner/kosteneffectiviteit/methoden/#:~:text=De%20milieubaten%20volgen%20uit%20de,in%20euro's%20per%20kilo%20emissiereductie.>

Inhoud bijlagen

1.	Bijlage - Stroomschema tenderafdeling	2
2.	Bijlage - Ondertekenaars Betonakkoord	5
3.	Bijlage - Leveranciers en partners	6
3.1	CSC-certificeringen	6
3.2	Aanbevolen partners m.b.t. duurzaamheid	7
4.	Bijlage - Voorbeelden voor in het PvA	8
5.	Bijlage - Stappenplan werkvoorbereiding	11
6.	Bijlage - Inventarisatie betonwerk	12
7.	Bijlage - Brief leveranciers	14
8.	Bijlage - Aanvullingen op inkoopovereenkomst	18
9.	Bijlage - Handleiding registratie- en monitoringstool	26
9.1	Werkvoorbereiding	26
9.2	Uitvoering	29
10.	Bijlage - Stappenplan uitvoering	31
11.	Bijlage - Stappenplan projectevaluatie	32
12.	Bijlage - Stappenplan jaarevaluatie	33
13.	Bijlage - Formulieren t.b.v. evaluatie	34
14.	Bijlage - Risicoanalyse	44
15.	Bijlage - Planning	46
	Tabel- en figuurlijst	48
	Figuurlijst	48
	Tabellijst	48
	Literatuurlijst	49

1. Bijlage - Stroomschema tenderafdeling

Op de volgende pagina is het stroomschema van de tenderafdeling opgenomen, zoals besproken in hoofdstuk 2.1.



Figuur 1: Stroomschema tenderafdeling

2. Bijlage - Ondertekenaars Betonakkoord

De genoemde partijen hebben het Betonakkoord ondertekend. Het is van belang om hen zowel tijdens de planvorming (tenderfase) als in de contractfase aan deze verbintenis te herinneren. (Betonakkoord, sd)

Tabel 1
 Ondertekenaars Betonakkoord

Opdrachtgevers		
De minister van Infrastructuur en Waterstaat		Gemeente Den Haag
De minister van Economische Zaken en Klimaat		Gemeente Amersfoort
De minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit		Gemeente Utrecht
De staatssecretaris van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (dus ook: Rijksvastgoedbedrijf)		Gemeente Leiden
		Gemeente Rotterdam
Interprovinciaal Overleg (IPO) namens alle provincies		Gemeente Hollands Kroon
		ProRail B.V.
Toeleveranciers		
Betoncentrale Wessel B.V.	Bork Sloopwerken B.V.	Bruil
Bosch Beton	C2Ca Technology	Caron Recycling B.V.
Cementbouw	Dekker groep	De Lek Beton
Dycore B.V.	Ecocem Benelux B.V.	ENCI B.V.
GBN	Goudse Betonmortel organisatie	Green-Basilisk B.V.
GrapheenPioneer	Hagen Beton B.V.	A. Jansen B.V.
K3Delta B.V.	KIWA	Laarakkers Sloop en Asbest B.V.
Master Builders Solutions Nederland B.V.	Mebin B.V.	Movares
Netterden Zand en Grind B.V.	N.V. Niba	NIBE
Roelofs Zandwinning B.V.	Sagrex Holding B.V.	Koninklijke Smals N.V.
SmartCrusher B.V.	Spijkerman Prefab Solutions B.V.	Spuitfolie B.V.
Struyk Verwo Infra B.V.	Teunesen Zand en grind	T. Klein Sloopwerken B.V.
Twee 'R' Recycling Groep B.V.	Van Nieuwpoort Groep B.V.	VBI
Vibers		
Bouwbedrijven		
Anton Bouw+Betontechniek B.V.	BAM Bouw en Vastgoed	BAM Infra Nederland B.V.
Besix	Boskalis Nederland B.V.	DEME Infra Marine Contractors BV
Dura Vermeer Divisie Infra	Heijmans NVI	Modulo Milieustraten
Van der Nagel Modulaire Bouw	TBI	VolkerWessels
Van Spijker Infrabouw B.V.	Strukton Civiel B.V.	
Sympathisanten		
Betonhuis	Betonvereniging	BRBS Recycling
Cascade	Civilion	Concrefy B.V.
Pantheon Performance Foundation	TU Eindhoven	VERAS
Vitruvius Building Solutions		

Opmerking. Aangepast overgenomen uit: Ondertekenaars: deelnemers en sympathisten door Betonakkoord, sd. Geraadpleegd op 5 december 2023, van: (<https://www.betonakkoord.nl/ondertekenaars/>). Copyright, Betonakkoord.

3. Bijlage - Leveranciers en partners

In deze bijlage zijn in aanvulling op bijlage 2 leveranciers opgenomen die CSC-gecertificeerd zijn, en zijn per productgroep of levensfase partners opgenomen die duurzaamheid hoog in het vaandel hebben staan of innovaties op het gebied van verduurzaming van beton beschikbaar hebben.

3.1 CSC-certificeringen

In deze bijlage is voor de (standaard) leveranciers van beton(producten) voor Van der Ven een overzicht weergegeven van de CSC-certificeringen die ze bezitten. CSC-certificeringen zijn onderverdeeld in de niveaus brons, zilver, goud en platinum, waarbij platinum het hoogst haalbare niveau is. Via de volgende link: <https://toolbox.csc.eco/certifiedProjects>, is een up-to-date en totaal overzicht van de CSC-certificeringen weergegeven (let op: als land moet Nederland geselecteerd worden) (Concrete Sustainable Council, sd).

Tabel 2
 CSC-gecertificeerde leveranciers

Betonmortel			
Platinum	Goud	Zilver	Brons
Heidelberg Materials (Mebin) (locaties: Alkmaar en Katwijk)	Theo Pouw, Utrecht	Betonmortelcentrale Gorkum	n.v.t.
	Heidelberg Materials (Mebin) (overige locaties)	Voets Langeraap Beton	
	Goudse Betonmortel Centrale, Gouda	ABC-mortel, Tiel en Waalwijk	
	Cementbouw, Zwijndrecht		
	Dyckerhoff Basal (alle locaties)		
	De Lek Beton, Groot-Ammers		
	Albeton, Amsterdam		
	Kijlstra (alle locaties)		
Betonproducten			
n.v.t.	Bosch beton, Barneveld	Constar (alle locaties)	n.v.t.
	Kemper beton (alle locaties)	Dycore (alle locaties)	
	De Meteor, Rheden	Prefab Beton Veghel	
	VBI (alle locaties)	Holcon (alle locaties)	
	Bisoton, Ede	Waardo beton, Tiel	
	De Hamer beton (alle locaties)		
	Bruil prefab (alle locaties)		
	Van Nieuwpoort prefab beton		
	Preco B.V.		

Opmerking. Aangepast overgenomen uit: *Gecertificeerde projecten door Concrete Sustainable Council, sd*. Geraadpleegd op 9 december 2023, van: (<https://toolbox.csc.eco/certifiedProjects>). Copyright, Concrete Sustainable Council.

De wereld mooier, en schoner maken

3.2 Aanbevolen partners m.b.t. duurzaamheid

Tabel 3
 Aanbevolen leveranciers m.b.t. duurzaamheid in de betonketen

Aanbevolen leveranciers m.b.t. duurzaamheid in de betonketen		
Toepassing	Leverancier	Toelichting
Betonmortel	Albeton	"Reduxx" beton (GROENR beton).
	A. Janssen beton	Geopolymeerbeton.
	Heidelberg materials	Toepassing van gerecyclede "betonfines" in samenwerking met Rutte Groep / diverse "innovatieve" cementen.
Betonplaten	Urban mine	100% gerecyclede betonplaten
Kanaalplaatvloeren	VBI	Terugnamegarantie / remontabele kanaalplaten, "groene" kanaalplaten.
Breedplaatvloeren	Dycore	-
Straatwerk	MBI	Toepassing "cemsaver" in Duraton.
	Struyk Verwo Infra	Cementvrij beton, Cycle for Concrete (circulariteit), CirCoton en biobased beton.
Keerwanden	Bosch beton	CO ₂ -labels op de producten.
Heipalen	Voorbij Prefab	Duurzame "holle" heipalen.
	IJB groep	
Riolering	Martens beton	o.a. geopolymeerbeton.
Taludtrappen	Weber beamix	3D geprinte taludtrappen.
Divers	Biobound	Duurzame betonproducten: circulair en biobased.

Tabel 4
 Aanbevolen partners m.b.t. duurzaamheid in de betonketen

Aanbevolen partners m.b.t. duurzaamheid in de betonketen		
Positie waardeketen	Partner	Toelichting
Adviseurs	ABT B.V.	Diverse adviseurs specifiek voor duurzaamheid in de betonketen.
	SQUAPE	Technologie voor geopolymeerbeton.
Recycling	Rutte groep / Urban Mine	Gespecialiseerd in slimme recycling.

4. Bijlage - Voorbeelden voor in het PvA

In deze bijlage zijn een aantal voorbeelden uitgewerkt voor het verwerken van CO₂-reducerende maatregelen uit de maatregellijst in het plan van aanpak. Niet alle maatregelen die hier benoemd zijn komen als voorkeursmaatregel uit de MCA, maar kunnen wel bijdragen aan een positieve score op de beoordelingscriteria en dragen daarnaast bij aan CO₂-reductie.

Slimme bouwplanning (1)

Toepassen wanneer kwaliteit, tijd, risico's of CO₂-reductie een beoordelingscriteria is...

In de bouw wordt gedurende het hele jaar beton gestort, maar in de wintermaanden, van november tot maart, zijn extra maatregelen vereist om kwalitatief goed beton te verkrijgen. Een van deze maatregelen is het toevoegen van 25% CEM I aan bijvoorbeeld CEM III om de verhardingstijd te versnellen en een hogere aanvangsterkte te bereiken. Dit leidt echter tot aanzienlijk meer CO₂-uitstoot en kan resulteren in een verandering in eindsterkte, met mogelijk scheurvorming als gevolg door overmatige sterkte. Daarnaast is het essentieel om de omgevingstemperatuur rond de betonconstructie te verhogen bij koud weer, wat gepaard gaat met een verhoogd energieverbruik. Bij zeer lage temperaturen is verlengde nabehandeling benodigd, wanneer dit niet zorgvuldig gebeurt kan dit het risico meebrengen dat de levensduur van constructies aanzienlijk wordt verkort (van Gent, 2021, p. 30) (Aanen, 2023, p. 42).

Van der Ven heeft de ambitie om de CO₂-uitstoot in de betonketen te verminderen, en daarnaast willen wij kwaliteitsverlies en de bijbehorende risico's voorkomen. Daarom voeren wij de volgende aanpak uit:

- ▶ Wij vermijden betonstortingen in de winterperiode door te prefabriceren;

Als prefabricage geen optie is en het werk in de wintermaanden toch doorgezet moet worden, voeren wij de volgende maatregelen uit:

- ▶ Wij maken gebruik van versnellers, hierdoor wordt de verhardingstijd verkort en de aanvangsterkte versneld, wat essentieel is bij koud weer;
- ▶ Wij gebruiken meer bekistingsmateriaal, hierdoor kan het beton langer in de bekisting worden gehouden waardoor het de benodigde tijd heeft om goed uit te harden, zelfs bij lage temperaturen!;
- ▶ Wij passen monitoring van sensing toe. Hierdoor kan de aanvangsterkte van beton nauwkeuring worden bepaald, dit geeft ons de mogelijkheid om op de juiste momenten de verdere werkzaamheden in te plannen zonder het risico van vroegtijdige belasting.

Slimme bouwplanning (2) – Hogere eindsterkte

Toepassen wanneer kosten of CO₂-reductie een beoordelingscriteria is, of er voldoende bouwtijd is...

Bij Slow beton ligt de nadruk om de sterkte die wordt bereikt na een bepaalde tijdsperiode, zoals 56 of 90 dagen, in tegenstelling tot het traditionele perspectief waarbij de focus ligt op de sterkte die wordt bereikt na 28 dagen, kan niet alleen CO₂ maar ook geld worden bespaard (van Gent, 2021, p. 42) (Aanen, 2023, p. 43). Omdat in dit project de kritieke belastingen op een constructie pas na 28 dagen van belang zijn, kiest Van der Ven voor de toepassing van Slow beton. Hiervoor is tevens voldoende ruimte in de bouwplanning. Hiermee wordt niet alleen materiaal bespaard, maar ook CO₂ en kosten!

Gebruik maken van oversterkte

Toepassen wanneer kosten of CO₂-reductie een beoordelingscriteria is...

Een deel van het beton of de mortel wordt besteld met een combinatie van sterkte- en milieuklassen waarbij, door de keuze van een zwaardere milieuklasse, een hogere sterkte wordt bereikt dan oorspronkelijk in het ontwerp was gepland. Deze extra sterkte kan worden benut om de constructies slanker te ontwerpen (van Gent, 2021, p. 43) (Aanen, 2023, p. 40).

Omdat er in dit werk de sterkteklasse C30/37 staat voorgeschreven voor beton, en er een keuze is gemaakt voor een zwaardere milieuklasse, kiest Van der Ven ervoor om gebruik te maken van de oversterkte en de constructie slanker te ontwerpen. Hiermee wordt niet alleen materiaal bespaard, maar ook CO₂ en kosten!

Verduurzaming in het transport

Toepassen wanneer CO₂-reductie een beoordelingscriteria is...

Van der Ven heeft de ambitie om de CO₂-uitstoot in de betonketen te verminderen. Daarom voeren wij het transport van de prefab leverancier naar de bouwplaats zelf uit met onze elektrische vrachtwagen. Het transport naar de bouwplaats is namelijk goed voor een aandeel CO₂-uitstoot van 5 tot 11% van de totale levenscyclus van beton. Op deze manier kan de CO₂-uitstoot in de transportfase worden geminimaliseerd. Door te kiezen voor leveranciers in de buurt van de projectlocatie willen wij problemen m.b.t. te weinig actieradius voorkomen (Aanen, 2023, p. 38) (Heezik, 2023),



Figuur 2: Elektrische vrachtwagen

Overgenomen uit: Hier is de elektrische Volvo door M. van Heezik, 2023. Geraadpleegd op 8 december 2023, van LinkedIn: (<https://www.linkedin.com/in/mark-van-heezik-66648759/recent-activity/all/>). Copyright 2023, M. van Heezik.

Toepassing van secundaire grondstoffen

Toepassen wanneer circulariteit of CO₂-reductie een beoordelingscriteria is...

Voor het leveren van het beton zijn wij een samenwerking aangegaan met Rutte groep. Rutte groep is in het bezit van een slimme breker, waarbij naast betongranulaat ook secundair grind, zand, cementsteen en ongehydrateerd cement wordt teruggewonnen. Rutte groep biedt via hun Urban Mine-concept een breed scala aan circulaire betonmengsels aan, welke geleverd kunnen worden met een circulariteit tot wel 100% en een CO₂-uitstootreductie tot wel 80% (Rutte groep, sd) (Betoniek, 2011) (Aanen, 2023, p. 52).

Van der Ven zet zo een extra stap met betrekking tot secundaire grondstoffen, door niet alleen betongranulaat toe te passen, maar zelfs verder te gaan tot aan de herwinning van cement.

Klinkervervanging. toepassen van hoogovenslak en vliegas

Toepassen wanneer circulariteit, CO₂-reductie of kosten een beoordelingscriteria is...

Voor het beton van de fundering kiezen wij voor de toepassing van een CEM III/B cement in het beton, in plaats van het voorgeschreven CEM III/A. Deze variant vervangt meer klinker door hoogovenslak, waardoor er een behoorlijke hoeveelheid CO₂ gereduceerd wordt, daarnaast is deze cementsoort specifiek voor de toepassing van een fundering erg geschikt, omdat het goed bestand is tegen grond en water die sulfaten

bevatten, wat voor dit project het geval is. Daarnaast is deze variant kostenbesparend en circulair, omdat er de hoogovenslak een restproduct is van de staalindustrie (van Gent, 2021, p. 38) (Aanen, 2023, p. 20).

Registratie- en monitoringstool

Toepassen wanneer kwaliteit, CO₂-reductie of kosten een beoordelingscriteria is...

Wij registreren en monitoren al het beton in onze specifieke registratie- en monitoringstool voor beton. Met deze tool kunnen we de CO₂-uitstoot over de gehele levenscyclus per beton(toepassing) bepalen. Bovendien stelt de tool in staat om een insitu stort te vergelijken met een prefab element, waardoor een weloverwogen keuze op het gebied van duurzaamheid mogelijk is. De tool geeft per fase aan waar de meeste uitstoot plaatsvindt, wat aanknopingspunten biedt voor verdere reductie. Ook biedt de tool een vergelijking met het gemiddelde betonmengsel in Nederland, waarbij in kleuren wordt aangegeven hoe duurzaam de prestaties zijn in vergelijking met dit standaard mengsel. Ten slotte kunnen alle betontoepassingen in de tool worden ingevoerd, waardoor een volledig beeld van de CO₂-uitstoot van beton voor het gehele project wordt verkregen. In de onderstaande afbeelding is het standaard dashboard weergegeven, wat ook voor u als opdrachtgever, beschikbaar is.



Figuur 3: Standaard dashboard CO₂-uitstoot, registratie- en monitoringstool

Alternatieve wapening

Toepassen wanneer kwaliteit, tijd, risico's of CO₂-reductie een beoordelingscriteria is...

In onze industriële vloerconstructies kiezen we ervoor vezelwapening te gebruiken in het betonmengsel in plaats van traditionele wapeningstaven. Dit heeft als extra voordeel dat de treksterkte van het beton toeneemt en de kans op scheurvorming afneemt, wat de algehele kwaliteit bevordert en tevens risico's vermindert. Bovendien leidt het gebruik van vezelwapening tot aanzienlijke arbeidsbesparingen en een reductie van CO₂-uitstoot. (van Gent, 2021, p. 41) (Aanen, 2023, p. 11)

Toepassing geopolymeerbeton

Toepassen wanneer CO₂-reductie een beoordelingscriteria is...

Voor de bestrating willen wij gebruik gaan maken van CERO, cementvrij beton. In dit straatwerk is het cement vervangen door geopolymeerbeton, waarbij een reductie mogelijk is tot 70%. Onze partner Stuyk Verwo Infra is leverancier van CERO cementvrij beton en zal dan ook het straatwerk leveren. Daarnaast heeft de toepassing van geopolymeerbeton in straatwerk geen constructieve risico's. (Stuyk Verwo Infra, sd)

5. Bijlage - Stappenplan werkvoorbereiding

- Stap 1:** Check de beloftes in het Plan van Aanpak m.b.t. duurzaamheid in de betonketen;
- Stap 2:** Inventariseer het betonwerk (zowel in het werk gestort beton als prefab betonproducten);
Hiervoor is in [bijlage 6](#) een formulier opgenomen!
- Stap 3:** Optimaliseer het ontwerp m.b.t. mengselsamenstelling en materiaalgebruik, schakel hier een adviseur voor in. Maak daarnaast een keuze in prefab of betonmortel voor de duurzaamste toepassing met behulp van de registratie- en monitoringstool;
- Stap 4:** Ga het gesprek aan met de opdrachtgever, zijn er specifieke eisen in het contract die de eerder besproken duurzame oplossingen belemmeren, bijvoorbeeld in het voorschrijven van afmetingen, leveranciers of sterkte- en milieuklassen?;
- Stap 5:** Werk het definitieve ontwerp uit in het uitvoeringsontwerp, en neem hier de besloten keuzes in mee met betrekking op duurzaamheid in de betonketen;
- Stap 6:** Contacteer leveranciers en onderaannemers voor het beton(werk), aanbevolen partners zijn opgenomen in [bijlage 2+3](#). Neem bij het opvragen van offertes de volgende regels op: *“Wij beoordelen uw offerte niet alleen op prijs, maar ook op de duurzaamheid van het product en het transport naar de bouwplaats. Daarom vragen wij u om de LCA van fase A1-A3 aan te leveren en een voorstel te doen voor duurzaam transport naar (en op) de bouwplaats. Een optimalisatie van het mengsel m.b.t. duurzaamheid wordt positief beoordeeld”*.
→ Voeg de brief uit [bijlage 7](#) toe aan de offerteaanvraag;
- Stap 7:** Beoordeel met welke leverancier of onderaannemer een contract wordt gesloten. Neem in de inkoopovereenkomst de punten uit [bijlage 8](#) op in het Artikel 6: Kwaliteit, Arbo en milieuzaken;
- Stap 8:** Beoordeel voor de aanvang van de werkzaamheden of de leverancier of onderaannemer heeft voldaan aan de gestelde punten uit bijlage 7 en 8;
- Stap 9:** Vul voor aanvang van de werkzaamheden of leveranties het stortplan in de registratie- en monitoringstool in, voor in het werk gestort beton sheet 2, voor prefab producten sheet 4. Een instructie voor het gebruik van de registratie- en monitoringstool is opgenomen in [bijlage 9](#);
- Stap 10:** Check na de werkzaamheden of het stortplan- en formulier naar de werkelijkheid is ingevuld, en stuur de gegevens op naar de duurzaamheidscoördinator voor verwerking in de totaal sheet.

6. Bijlage - Inventarisatie betonwerk

Op de volgende pagina is het formulier gegeven voor de inventarisatie van het betonwerk, dit is stap 2 van het stappenplan voor de werkvoorbereiding.

7. Bijlage - Brief leveranciers

Op de volgende pagina's is de brief voor de leveranciers weergegeven, dit is stap 6 van het stappenplan voor de werkvoorbereiding.

Er zijn twee opties voor het aanleveren van de LCA-gegevens:

1. De betonleverancier of -producent levert een door hun zelf berekende LCA-waarde aan in kg CO₂ / m³ voor fase A1-A3 (brief, bijlage 1);
2. De betonleverancier of -producent levert gedetailleerde gegevens aan voor 1 m³ betonmortel of voor één betonelement volgens het invulformulier uit bijlage 2 van de brief, zodat deze door Van der Ven in de registratie- en monitoringstool kan worden ingevuld (brief, bijlage 2).

Mededeling

Aan onze partners in de betonketen

Brakel, 4 december 2023

Ons kenmerk : x
Uw kenmerk : x
Behandeld door : H.E. Aanen

Betreft: Aanleveren gegevens LCA A1-A3 beton(producten) t.b.v. registratie CO₂-emissies in de betonketen

Geachte heer, mevrouw,

Vanaf 1 januari 2024 verzoeken wij al onze (prefab) betonleveranciers om bij elke betonleverantie de LCA-gegevens van fase A1 t/m A3 aan te leveren per m³ beton in kg CO₂ zodat wij onze CO₂-uitstoot in de betonketen in kaart kunnen brengen.

Als uw bedrijf niet in staat is om deze gegevens te berekenen, verzoeken wij u om in het bijgevoegde formulier de mengsamenstelling gedetailleerd in te vullen. Wij beschikken namelijk zelf over een rekentool om de CO₂-uitstoot in de betonketen uit te rekenen.

Op het bijgevoegde formulier kunt u uw gegevens invullen.

Wij verzoeken u het ingevulde formulier aan ons te retourneren via de mail naar



Graag ontvangen wij de gegevens vóór de daadwerkelijke levering.

Met vriendelijke groet,

Hester Aanen

G. van der Ven B.V. Aannemingsbedrijf



Bijlage 1: Invulformulier LCA-gegevens A1-A3 t.b.v. registratie CO₂-emissies in de betonketen

Alleen invullen wanneer de LCA-waarde A1 t/m A3 bekend is. Wanneer dit niet het geval is bijlage 2 invullen.

(prefab) betonmengsels

Betreft	:	betonmengsel / prefab element (doorstrepen wat niet van toepassing is)
LCA A1-A3	:	..... kg CO ₂ /m ³
Volumieke massa	:	..... kg/m ³

In het geval van prefab elementen, onderstaand ook invullen:

Hoeveelheid beton / element:	.....	m ³ /element
Hoeveelheid elementen	:	..... stuks

Alleen invullen wanneer de LCA-waarde A1 t/m A3 bekend is. Wanneer dit niet het geval is bijlage 2 invullen.



Bijlage 2: Invulformulier gegevens betonmengsel en/of prefab element A1-A3 t.b.v. registratie CO₂-emissies in de betonketen

Alleen invullen wanneer de LCA-waarde A1 t/m A3 niet door uw bedrijf berekend kan worden. In het geval van een betonmengsel, alleen het bovenste gedeelte: "Mengselsamenstelling beton" invullen, in het geval van een prefab element het gehele formulier invullen

Mengselsamenstelling beton

Type bindmiddel ¹	Hoeveelheid [kg/m ³]	Transportmiddel ²	Transportafstand [km]
1.
2.
3.
Type toeslagmateriaal ³	Hoeveelheid [kg/m ³]	Transportmiddel ²	Transportafstand [km]
1.
2.
3.
Type vul- hulp en kleurstoffen	Hoeveelheid [kg/m ³]	Transportmiddel ²	Transportafstand [km]
1.
2.
3.

Energie & brandstof: standaard energieverbruik betoncentrale [per m³] wordt hier aangehouden

Type water	Hoeveelheid [kg/m ³]
Bronwater / leidingwater / oppervlaktewater / recyclingwater (doorstrepen wat niet van toepassing is)

Samenstelling betonelement

Type wapening	Hoeveelheid [kg/m ³]	Transportmiddel ²	Transportafstand [km]
1.
2.
Type bekisting	Hoeveelheid [kg/m ³]	Transportmiddel ²	Transportafstand [km]
1.
Type energie & brandstof ⁴	Hoeveelheid [kg/m ³]		
1.		
2.		
3.		
Overige ⁵	Hoeveelheid [kg/m ³]	Transportmiddel ²	Transportafstand [km]
1.
2.
3.

Hoeveelheid beton / element : m³/element
 Hoeveelheid elementen : stuks

¹ Benaming bindmiddel: CEM - Romeinse cijfer – Sterkteklasse - L/R/N – Leverancier - Productielocatie

² Type transport: containerschip of bulk overzee / binnenvaartschip / vrachttrein / vrachtwagen incl. type motor en brandstof

³ Type toeslagmateriaal: inclusief gradatie en herkomst

⁴ Type energie & brandstof: bijv. aardgas [m³], diesel [l], (groene) elektriciteit [kWh], propaan gas [kg]

⁵ Bijvoorbeeld: ontkistingsmiddel, afstandhouders, curing compound, kunststof of isolatie,

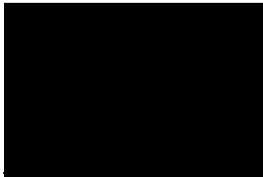


8. Bijlage - Aanvullingen op inkoopovereenkomst

Op de volgende pagina's is de standaard inkoopovereenkomst voor betonwerk van Van der Ven opgenomen, met daarin aanvullingen op Artikel 6: Kwaliteit, Arbo en Milieuzaken. De aanvullingen zijn grijs gemarkeerd.

Partijen

Ondergetekenden:

Bedrijfsnaam:	Aannemingsbedrijf G. van der Ven B.V.
Adres:	Van Heemstraweg 2
Postcode en plaats:	5306 TA Brakel
Postbus:	Postbus 13, 5306 ZG Brakel
Telefoonnummer:	0418 - 67 15 10
KvK-nummer:	
Btw-nummer:	
Loonheffing nummer:	
Contactpersoon:	
E-mailadres contactpersoon:	

hierna te noemen: 'hoofdaannemer', en

Bedrijfsnaam:
Adres:
Postcode en plaats:
Postbus:
Telefoonnummer:
KvK-nummer:
Btw-nummer:
Contactpersoon:
E-mailadres contactpersoon:

hierna te noemen: 'onderaannemer'

Hoofdaannemer en onderaannemer ook wel gezamenlijk te noemen: 'Partijen'

Projectgegevens

Projectnummer:	Projectnummer
Projectnaam:	Projectnaam
Locatie project:	

In aanmerking nemende dat:

- 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.
- 

verklaren als volgt te zijn overeengekomen:



[REDACTED]

k. Bijlage 9

2.

3.

Artikel 5: Bijzondere voorwaarden

1. [REDACTED]

Artikel 6: Kwaliteit, Arbo en Milieuzaken

1. [REDACTED]

2. [REDACTED]

3. [REDACTED]

4. De onderaannemer zal alles in het werk stellen om zijn CO₂-uitstoot te beperken. Tevens stimuleert de onderaannemer dat alle betrokkenen proactief handelen ten aanzien van de beperking van de CO₂-uitstoot.

5. De onderaannemer levert van elk betonproduct of elke betonstort de LCA-gegevens aan voor fase A1-A3 t.b.v. de registratie van CO₂-emissies in de betonketen, conform bijlage 9. Tevens adviseert de onderaannemer ook in het verduurzamen van het betonmengsel of -product.

6. De onderaannemer doet een voorstel voor verduurzaming in het transport naar de bouwplaats.

7. De onderaannemer doet een voorstel voor het verminderen van de CO₂-uitstoot op de bouwplaats, veroorzaakt door zijn werkzaamheden voor het betonwerk.

Artikel 7: Wet Ketenaansprakelijkheid (WKA)

1. [REDACTED]

2. [REDACTED]

3. [REDACTED]

Paraaf



9. Bijlage - Handleiding registratie- en monitoringstool

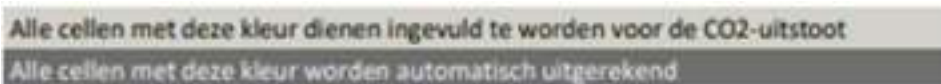
9.1 Werkvoorbereiding

Allereerst is het van belang op de informatiesheet (1) te lezen. Hierin is veel informatie opgenomen met betrekking tot het gebruik van de tool.

Als werkvoorbereider is het de bedoeling dat u de variant gebruikt met koppeling van het keuringsplan. De volgende sheets dienen te worden ingevuld:

- ▶ Sheet 2: Stortplan insitu, in het geval van in het werk gestort beton;
- ▶ Sheet 4: Formulier prefab, in het geval van prefab betonproducten.

Daarnaast is het van belang dat u alleen de lichtgrijze cellen invult voor het uitrekenen van de CO₂-uitstoot:



Betonmortel – Sheet 2

Standaard in te vullen gegevens:

Van de volgende onderdelen dient u te allen tijde de gegevens in te vullen in sheet 2:

- ▶ Werkvloer;
- ▶ Vloerisolatie;
- ▶ Bekisting;
- ▶ Afstandhouders en wapeningsstaal;
- ▶ Oppervlaktebehandeling;
- ▶ Ontkistingsmiddel.

Als u op een cel gaat staan verschijnt er een drop-down menu met daarbij een instructie wat er ingevuld moet worden, en in welke eenheid. Voor de bovenstaande onderdelen dienen de volgende gegevens ingevuld te worden:

- ▶ Type: Zie drop-down menu;
- ▶ Hoeveelheid: Hoeveelheid van het type, in kilogram per m³ beton;
- ▶ Transportmiddel: Het transportmiddel voor het type, hierin is er keuze in diverse soorten schepen, en vrachtwagens met verschillende soorten EURO motoren en type brandstoffen;
- ▶ Transportafstand: De transportafstand in kilometers van het transportmiddel (enkele rit).

Als een onderdeel niet aanwezig is, selecteer dan "n.v.t.". Zet dan ook de overige onderdelen in deze rij op 0 of n.v.t.. Als uw keuze niet aanwezig is in het drop-down menu, selecteer dan de keuze die er het meest dichtbij ligt, en geef aan de duurzaamheidscoördinator door welke gegevens u mist.

Daarnaast dient u altijd de hoeveelheid in m³ beton in te vullen. Vervolgens zijn er twee mogelijkheden:

1. U heeft de LCA (fase A1-A3) ontvangen van de betoncentrale (bijlage 1 v/d brief is ingevuld);
2. U heeft de LCA (fase A1-A3) niet ontvangen van de betoncentrale (bijlage 2 v/d brief is ingevuld).

Keuze voor in te vullen gegevens:

Per optie wordt er besproken wat u vervolgens moet doen.

1. LCA (fase A1-A3) is ontvangen:
 - ▶ Vul de volumieke massa in, in kg / m³ beton (zie bijlage 1 v/d brief);
 - ▶ Vul de LCA waarde in voor fase A1-A3, in kg CO₂ / m³ beton (zie bijlage 1 v/d brief);
 - ▶ Zet vervolgens alle cellen onder: "Betonsamenstelling nader gespecificeerd (LCA A1-A3) op 0 of n.v.t..

2. LCA (fase A1-A3) is niet ontvangen:
 - ▶ Zet de volumieke massa en de ontvangen LCA op 0;
 - ▶ Vul vervolgens alle cellen in onder: "Betonsamenstelling nader gespecificeerd (LCA A1-A3), de gegevens hiervan zijn te vinden in bijlage 2 v/d brief. Vul deze gegevens op dezelfde manier in als de standaard gegevens.

Afronding:

Als de uitvoerder het stortformulier heeft ingevuld (LCA fase A4-A5) zijn de gegevens compleet. Fase C en D worden namelijk automatisch uitgerekend. In het dashboard CO₂-uitstoot (sheet 6) kunt u vervolgens de totale LCA-waarde vinden, in de gegevenstabel LCA betonmortel totaal (A1 t/m D). Stuur de volgende gegevens op naar de duurzaamheidscoördinator voor het verwerken in het totaalblad:

- ▶ Projectnaam en projectnaam;
- ▶ Het betreft een mengsel;
- ▶ Onderdeel van de stort, bijvoorbeeld een vloer;
- ▶ Hoeveelheid, in m³ beton;
- ▶ CO₂-uitstoot, in kilogram / m³ beton → Zie gegevenstabel LCA betonmortel totaal (A1 t/m D).

Prefab beton – Sheet 4

Standaard in te vullen gegevens:

Van de volgende onderdelen dient u te allen tijde de gegevens in te vullen in sheet 4:

- ▶ Hoeveelheid, in m³ beton per element;
- ▶ Hoeveelheid elementen, in stuks.

Vervolgens zijn er twee mogelijkheden:

1. U heeft de LCA (fase A1-A3) ontvangen van de betoncentrale (bijlage 1 v/d brief is ingevuld);
2. U heeft de LCA (fase A1-A3) niet ontvangen van de betoncentrale (bijlage 2 v/d brief is ingevuld).

Keuze voor in te vullen gegevens:

Per optie wordt er besproken wat u vervolgens moet doen:

1. LCA (fase A1-A3) is ontvangen:
 - ▶ Vul de volumieke massa in, in kg / m³ beton (zie bijlage 1 v/d brief);

- ▶ Vul de LCA waarde in voor fase A1-A3, in kg CO₂ / m³ beton (zie bijlage 1 v/d brief);
- ▶ Zet vervolgens alle cellen onder: "Betonsamenstelling nader gespecificeerd (LCA A1-A3)" en "Samenstelling prefab element (LCA A1-A3)" op 0 of n.v.t..

2. LCA (fase A1-A3) is niet ontvangen:

- ▶ Zet de volumieke massa en de ontvangen LCA op 0;
- ▶ Vul vervolgens alle cellen in onder: "Betonsamenstelling nader gespecificeerd (LCA A1-A3)" en "Samenstelling prefab element (LCA A1-A3)" in. De gegevens hiervan zijn te vinden in bijlage 2 v/d brief. Vul deze gegevens op de onderstaande manier in:

Als u op een cel gaat staan verschijnt er een drop-down menu met daarbij een instructie wat er ingevuld moet worden, en in welke eenheid. Voor de bovenstaande onderdelen dienen de volgende gegevens ingevuld te worden:

- ▶ Type: Zie drop-down menu;
- ▶ Hoeveelheid: Hoeveelheid van het type, in kilogram per m³ beton;
- ▶ Transportmiddel: Het transportmiddel voor het type, hierin is er keuze in diverse soorten schepen, en vrachtwagens met verschillende soorten EURO motoren en type brandstoffen;
- ▶ Transportafstand: De transportafstand in kilometers van het transportmiddel (enkele rit).

Als een onderdeel niet aanwezig is, selecteer dan "n.v.t.". Zet dan ook de overige onderdelen in deze rij op 0 of n.v.t.. Als uw keuze niet aanwezig is in het drop-down menu, selecteer dan de keuze die er het meest dichtbij ligt, en geef aan de duurzaamheidscoördinator door welke gegevens u mist.

Afronding:

Als de uitvoerder het onderdeel transport (LCA fase A4) en het onderdeel bouwplaats (LCA fase A5) heeft ingevuld zijn de gegevens compleet. Fase C en D worden namelijk automatisch uitgerekend. In het dashboard CO₂-uitstoot (sheet 6) kunt u vervolgens de totale LCA-waarde vinden, in de gegevenstabel LCA Prefab betonproduct totaal (A1 t/m D). Stuur de volgende gegevens op naar de duurzaamheidscoördinator voor het verwerken in het totaalblad:

- ▶ Projectnaam en projectnaam;
- ▶ Het betreft een prefab betonproduct;
- ▶ Onderdeel en toelichting, bijvoorbeeld riolering, putten en buizen;
- ▶ Hoeveelheid, in m³ beton;
- ▶ CO₂-uitstoot, in kilogram / m³ beton → Zie gegevenstabel LCA Prefab betonproduct totaal (A1 t/m D).

Als u een betonproduct wilt vergelijken met een insitu betonstort dienen beide sheets, sheet 2 en 4, ingevuld te worden.

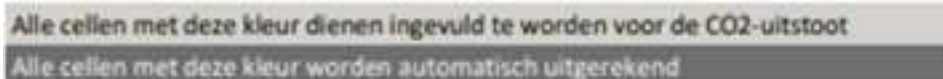
9.2 Uitvoering

Allereerst is het van belang op de informatiesheet (1) te lezen. Hierin is veel informatie opgenomen met betrekking tot het gebruik van de tool.

Als uitvoerder is het de bedoeling dat u de variant gebruikt met koppeling van het keuringsplan. De volgende sheets dienen te worden ingevuld:

- ▶ Sheet 3: Stortformulier insitu, in het geval van in het werk gestort beton;
- ▶ Sheet 4: Formulier prefab, in het geval van prefab betonproducten.

Daarnaast is het van belang dat u alleen de lichtgrijze cellen invult voor het uitrekenen van de CO₂-uitstoot:



Betonmortel – Sheet 3

Standaard in te vullen gegevens:

Van de volgende onderdelen dient u te allen tijde de gegevens in te vullen in sheet 3:

- ▶ Transportmiddelen;
- ▶ Bouwplaatsprocessen;
- ▶ Energie & brandstof.

Als u op een cel gaat staan verschijnt er een drop-down menu met daarbij een instructie wat er ingevuld moet worden, en in welke eenheid. Voor de bovenstaande onderdelen dienen de volgende gegevens ingevuld te worden:

- ▶ Type: Zie drop-down menu;
- ▶ Hoeveelheid: Hoeveelheid van het type, in hr of ritten / m³ beton, achter het type staat ook de gewenste eenheid;
- ▶ Transportmiddel: Het transportmiddel voor het type, hierin is er keuze in diverse soorten schepen, en vrachtwagens met verschillende soorten EURO motoren en type brandstoffen;
- ▶ Transportafstand: De transportafstand in kilometers van het transportmiddel (enkele rit).

Als een onderdeel niet aanwezig is, selecteer dan "n.v.t.". Zet dan ook de overige onderdelen in deze rij op 0 of n.v.t.. Als uw keuze niet aanwezig is in het drop-down menu, selecteer dan de keuze die er het meest dichtbij ligt, en geef aan de duurzaamheidscoördinator door welke gegevens u mist.

Afronding:

Als u het stortformulier (LCA fase A4-A5) heeft ingevuld zijn de gegevens compleet. De werkvoorbereider heeft namelijk de gegevens al ingevuld voor (LCA fase A1-A3). Fase C en D worden automatisch uitgerekend. In het dashboard CO₂-uitstoot (sheet 6) kunt u vervolgens de totale LCA-waarde vinden, in de gegevenstabel LCA betonmortel totaal (A1 t/m D). Geef vervolgens een seintje aan de werkvoorbereider als de gegevens zijn ingevuld. De werkvoorbereider stuurt de gegevens door naar de duurzaamheidscoördinator.

Prefab beton – Sheet 4

Standaard in te vullen gegevens:

Van de volgende onderdelen dient u te allen tijde de gegevens in te vullen in sheet 4:

- ▶ Transportmiddelen;
- ▶ Bouwplaatsprocessen.

Als u op een cel gaat staan verschijnt er een drop-down menu met daarbij een instructie wat er ingevuld moet worden, en in welke eenheid. Voor de bovenstaande onderdelen dienen de volgende gegevens ingevuld te worden:

- ▶ Type: Zie drop-down menu;
- ▶ Hoeveelheid: Hoeveelheid van het type, in hr of kilogram / prefab element, achter het type staat ook de gewenste eenheid;
- ▶ Transportmiddel: Het transportmiddel voor het type, hierin is er keuze in diverse soorten schepen, en vrachtwagens met verschillende soorten EURO motoren en type brandstoffen;
- ▶ Transportafstand: De transportafstand in kilometers van het transportmiddel (enkele rit).

Als een onderdeel niet aanwezig is, selecteer dan “n.v.t.”. Zet dan ook de overige onderdelen in deze rij op 0 of n.v.t.. Als uw keuze niet aanwezig is in het drop-down menu, selecteer dan de keuze die er het meest dichtbij ligt, en geef aan de duurzaamheidscoördinator door welke gegevens u mist.

Afronding:

Als u het formulier prefab (LCA fase A4-A5) heeft ingevuld zijn de gegevens compleet. De werkvoorbereider heeft namelijk de gegevens al ingevuld voor (LCA fase A1-A3). Fase C en D worden automatisch uitgerekend. In het dashboard CO₂-uitstoot (sheet 6) kunt u vervolgens de totale LCA-waarde vinden, in de gegevenstabel LCA prefab betonproduct totaal (A1 t/m D). Geef vervolgens een seintje aan de werkvoorbereider als de gegevens zijn ingevuld. De werkvoorbereider stuurt de gegevens door naar de duurzaamheidscoördinator.

Als u een betonproduct wilt vergelijken met een insitu betonstort dienen beide sheets, sheet 2 en 4, ingevuld te worden.

10. Bijlage - Stappenplan uitvoering

- Stap 1:** Beoordeel voor de aanvang van de werkzaamheden of de leverancier of onderaannemer heeft voldaan aan de gestelde punten uit bijlage 7 en 8 (stap 8 werkvoorbereiding);
- Stap 2:** Controleer voor aanvang van de werkzaamheden of het stortplan in de registratie- en monitoringstool door de werkvoorbereider is ingevuld;
- Stap 3:** Controleer of de werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd zoals bedacht. Zijn er bijvoorbeeld weersomstandigheden die de mengselsamenstelling van het beton kunnen beïnvloeden? Zijn er aanpassingen in materiaalhoeveelheden, of: wijzigt de planning?
→ Zo ja: ga eerst aan tafel met het projectteam / opdrachtgever alvorens de uitvoering en bespreek hoe de duurzame oplossingen toch kunnen worden bereikt;
- Stap 4:** Controleer voor aanvang van een betonstort de afleverbon en bij een leverantie de betonproducten (ingangscntrole);
- Stap 5:** Als stap 3 en 4 gewaarborgd zijn start de uitvoering. Controleer tijdens de uitvoering of de werkzaamheden worden uitgevoerd zoals besproken;
- Stap 6:** Vul tijdens of direct na aanvang van de werkzaamheden of leveranties het stortformulier in de registratie- en monitoringstool in, voor in het werk gestort beton sheet 3, voor prefab producten sheet 4. Een instructie voor het gebruik van de registratie- en monitoringstool is opgenomen in **bijlage 9**;
- Stap 7:** Deel het ingevulde stortformulier met de werkvoorbereider voor het project.

11. Bijlage - Stappenplan projectevaluatie

- Stap 1:** Verstuur het formulier klanttevredenheidsonderzoek, gespecificeerd naar CO₂-reductie in de betonketen, opgenomen in **bijlage 13**, naar de opdrachtgever (taak voor projectleider);
- Stap 2:** Laat de projectleider na het terug ontvangen van het klanttevredenheidsformulier van de opdrachtgever een interne projectevaluatie met het projectteam inplannen;
- Stap 3:** Vul tijdens de interne projectevaluatie voor elke leverancier / onderaannemer m.b.t. beton de leveranciersbeoordeling in. Hierin zijn specifieke criteria opgenomen m.b.t. CO₂-reductie in de betonketen. De aangepaste leveranciersbeoordeling is opgenomen in **bijlage 13**;
- Stap 4:** Vul daarnaast tijdens de interne projectevaluatie het projectevaluatieformulier in. Hierin is een specifiek criteria opgenomen m.b.t. CO₂-reductie in de betonketen. Het aangepaste projectevaluatieformulier is opgenomen in **bijlage 13**;
- Stap 5:** Deel na de projectevaluatie de documenten met de duurzaamheidscoördinator. Hij of zij is verantwoordelijk voor het archiveren van de documenten en de communicatie richting directie;
- Stap 6:** Koppel de punten uit de projectevaluatie terug naar het tenderteam.

12. Bijlage - Stappenplan jaarevaluatie

- Stap 1:** Verwerken van de ontvangen CO₂-uitstootgegevens van de projecten voor betonmengsels en prefab beton producten in het overzicht van de totale CO₂-uitstoot (sheet 6 van de registratie- en monitoringstool);
- Stap 2:** Completeren van het jaaroverzicht aan het einde van het jaar, met daarin: de totale CO₂-uitstoot van het desbetreffende jaar, de CO₂-uitstoot per project, het aandeel prefab / mortel en de vergelijking met de gemiddelde samenstelling. En wanneer mogelijk: een vergelijking met het voorgaande jaar;
- Stap 3:** Jaarevaluatie met de directie en afdeling KAM. Hiervoor is een formulier opgesteld, opgenomen in **bijlage 13**, welke tijdens deze evaluatie ingevuld moet worden. In dit formulier moeten de jaar- en projectgegevens ingevuld worden, en moet per activiteit geëvalueerd worden wat er goed ging, en wat er nog beter kan. Er zijn ook specifieke criteria opgenomen met betrekking tot dit implementatieplan;
- Stap 4:** Verwerk de uitkomsten van de evaluatie in het Jaarplan KAM, stel tevens het Plan van Aanpak of doelstellingen bij wanneer dit nodig is voor het nieuwe jaar;
- Stap 5:** Herhaal dit stappenplan elk jaar opnieuw;

13. Bijlage - Formulieren t.b.v. evaluatie

Op de volgende pagina's zijn de formulieren t.b.v. de project- en jaarevaluatie opgenomen, met daarin aanvullingen op de criteria m.b.t. CO₂-reductie in de betonketen. De aanvullingen zijn grijs gemarkeerd.

Klanttevredenheidsonderzoek

Opdrachtgever :
 Vertegenwoordiger :
 Projectnaam :

Datum:

Van der Ven wil zichzelf continu verbeteren, daarom vragen wij onze opdrachtgevers om afgeronde projecten te beoordelen op een aantal punten.

Beoordeling

Kruis s.v.p. per rij uw beoordeling aan.

	<i>Slecht</i>	<i>Onvoldoende</i>	<i>Neutraal</i>	<i>Voldoende</i>	<i>Goed</i>
Projectmatig					
Kwaliteit werk					
Kwaliteit personeel					
Bereikbaarheid					
Communicatie					
Betrouwbaarheid					
Flexibiliteit					
Klantvriendelijk					

Algemene indruk G. van der Ven B.V. Aannemingsbedrijf					
Kwaliteit werk					
Prijs/kwaliteit verhouding					
Communicatie					

Vanwege onze ambitie met betrekking tot de verduurzaming van de betonketen vragen wij u ook om een specifieke beoordeling op onze inspanningen hiervoor in dit project:

Inspanningen m.b.t. verduurzaming (CO₂-reductie) in de betonketen					
Kwaliteit werk					
Prijs/kwaliteit verhouding					
Communicatie					

Cijfer (1t/m10)

Ruimte voor opmerkingen en verbeterpunten:

Heeft Van der Ven aan uw verwachtingen voldaan?

JA/NEE

Ruimte voor opmerking:

Heeft Van der Ven volgens u aan alle wet- en regelgeving voldaan?

JA/NEE

Opdrachtgever (gemachtigde)

Naam:

Handtekening:

G. van der Ven B.V. Aannemingsbedrijf

Naam:

Handtekening:

Bedankt voor het invullen van dit verbeterformulier. Om uw verbeterpunt zo goed mogelijk te verwerken vragen wij u om onderstaande vragen in te vullen. U kunt uw verbeterpunt ook mailen naar info@vanderven.nl

Welk verbeterpunt ziet u?

Op welke manier had uw verbeterpunt voorkomen kunnen worden?

Hoe wilt u geïnformeerd worden over de afhandeling van het verbeterpunt?

Opdrachtgever (gemachtigde)

Opdrachtgever:

Naam

Handtekening

Leveranciersbeoordeling

Leverancier: (naam)

Procedure t.b.v. handboek

Tijdens de projectevaluatie wordt circa 1:5 leveranciers beoordeeld. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de projectleider. Bij een score van 0 dient contact met de leverancier te worden opgenomen zodat deze een verbetermaatregel kan doorvoeren.

Indien bij een herbeoordeling opnieuw een 0 wordt gescoord krijgt de leverancier een schriftelijke 'waarschuwing' met het verzoek te verbeteren. Als bij een derde beoordeling nog steeds geen een 0 wordt gescoord, zal afscheid van de leverancier worden genomen. Tussentijdse incidenten tellen als een negatieve beoordeling.

Wanneer er duurzaamheidscriteria met betrekking tot beton voor leveranciers of onderaannemers van toepassing zijn, dient elke leverancier of onderaannemer beoordeeld te worden.

	O	V	G	n.v.t.
Contractvorming				
Contract aanwezig en ondertekend?				
Inhoud contract duidelijk en volledig?				
Leverancier heeft een pro-actieve houding bij wijzigingen?				
Geeft de leverancier invulling aan social return?				
Werkvoorbereiding				
Leverancier beheerst de kwaliteit van zijn werk?				
Leverancier heeft aandacht voor veiligheid en milieu?				
Communicatie met leverancier verloopt naar wens (informatieoverdracht)?				
Bedrijf beschikt over gewenste certificaten? (ISO, VCA, CO?)				
Uitvoering				
Medewerkers werken veilig?				
Medewerkers hebben een proactieve houding?				
Leveringen tijdig, volledig en juist?				
De plannen worden nageleefd en planning wordt gehaald?				
Tijdige bijsturing, opvolging?				
Duurzaamheid (CO₂-reductie in de betonketen)				
Leverancier heeft de LCA-gegevens aangeleverd?				
Leverancier heeft een voorstel gedaan voor verduurzaming in het transport?				
Leverancier heeft een voorstel gedaan m.b.t. CO ₂ -reductie op de bouwplaats?				
Leverancier heeft een pro-actieve houding in advisering m.b.t. CO ₂ -reductie?				
Leverancier is zijn afspraken nagekomen?				
Facturatie				
Hoe wordt omgegaan met meerwerk (prijs)?				
Factuur is volledig en juist (aantallen, prijs, projectnummer)?				
WKA-gegevens worden op tijd verstrekt (indien van toepassing)?				
Bedrijf lost problemen naar tevredenheid op?				



Toelichting:

Beoordeling door :
Beoordelingsdatum :
Handtekening :

Projectevaluatie

Project: Projectnummer: Uitvoerder:		Datum: Opdrachtgever: Besteknummer:	
Activiteit	Wat ging er goed? Wat kan nog beter?		
Calculatie			
Ontwerp			
Voorbereiding			
Kostenbewaking			
Uitvoering			
Personeelsinzet			
Werkwijze			

Duurzaamheid (specifiek: CO ₂ - reductie in de betonketen)	
Leveranciers	Zie leveranciers beoordelingen
Materieel	
Verhuurders	
Onderaannemers	Zie leveranciersbeoordelingen
Kwaliteitssysteem	
Opdrachtgever	
Ingevuld door:	

Jaarevaluatie – CO₂-reductie in de betonketen

Jaar:	Datum:
<u>Jaargegevens:</u>	<u>Projectgegevens: (top 8)</u>
Nulmeting [kg CO ₂]: .....	.....kg CO ₂
Totale uitstoot [kg CO ₂]: .....	.....kg CO ₂
Jaaromzet [€]: .....	.....kg CO ₂
Nieuwe conversiefactor [-]: .....	.....kg CO ₂
Reductie t.o.v. vorig jaar [%]: .....	.....kg CO ₂
Gem. samenstelling [kg CO ₂ /m ³]: .....	.....kg CO ₂
Aandeel prefab [%] ¹: .....	.....kg CO ₂
Aandeel mortel [%] ²: .....	.....kg CO ₂

Activiteit	Wat ging er goed? Wat kan nog beter?
Planvorming (aanbesteding)	
Calculatie	
Ontwerp	
Vorbereiding	
Kostenbewaking	

¹ Standaard in Nederland = 45%

² Standaard in Nederland = 55%

Uitvoering	
Personeelsinzet	
Werkwijze	
Leveranciers	Zie leveranciers beoordelingen
Materieel	
Verhuurders	
Onderaannemers	Zie leveranciersbeoordelingen
Opdrachtgever	

Doestelling, haalbaar binnen 10 jaar? En waarom?	
Planning (implementatieplan)	
Taakverdeling (implementatieplan)	
Methodes - Stappenplannen - Stroomschema (implementatieplan)	
Interne en externe communicatie (implementatieplan)	
Kwaliteitssysteem (Registratie- en Monitoringstool)	
Ingevuld door:	

14. Bijlage - Risicoanalyse

Op de volgende pagina is de risicoanalyse toegevoegd, als onderdeel van hoofdstuk 1.6 uit het implementatieplan.

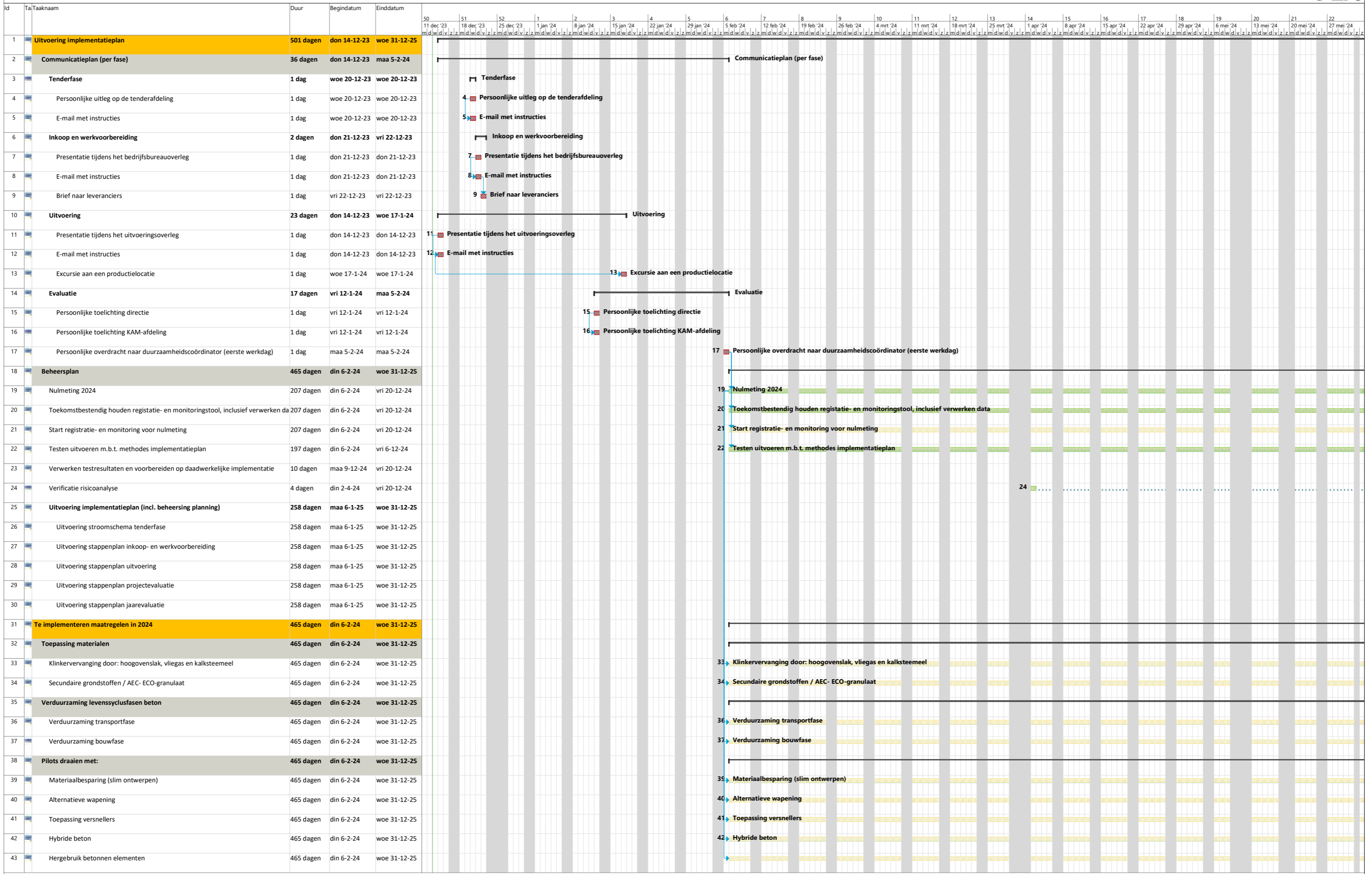
Tabel 6
Risicoanalyse

Risicoanalyse - Implementatieplan: "CO2 reductie in de betonketen"										LEGENDA		
Projectnaam : Implementatieplan van de afstudeerscriptie: "CO2 reductie in de betonketen" Contract: n.v.t. Datum opgesteld : 13-12-2023 Versie: 1.0										Risicoscore klein gemiddeld groot		
Omschrijving					Kwantificering Risico							
Risiconr.	Object	Risico	Oorzaak	Gevolg	Kans (0-5)	Gevolg [0-5] (0-5)				Score	Eigenaar	Beheersmaatregelen
						CO2-reductie	Tijd	Kwaliteit	Kosten			
1	Implementatiestappen	Implementatiestappen in de voorbereidings-, realisatie- en evaluatiefase worden niet uitgevoerd.	1. Geen sturing vanuit directie; 2. Het belang (CO2-reductie) wordt niet gezien; 3. Gebrek aan tijd; 4. Gebrek aan communicatie; 5. Conservativiteit binnen de organisatie.	De implementatie wordt niet uitgevoerd, waardoor er geen CO2 wordt gereduceerd in de betonketen en de opgestelde doelstellingen niet worden behaald.	3	5	5	3	1	42	Van der Ven (ON)	Communicatieplan toevoegen, met daarin: - Persoonlijke toelichting voor de directie, en daarin wijzen op het belang (en deze risicoanalyse); - Presentatie voor de medewerkers om het belang duidelijk te maken.
2	Oprichtgever	De opdrachtgever is niet bereid om CO2-reductie in de betonketen door te voeren in de projecten.	1. De opdrachtgever vindt duurzaamheid niet belangrijk; 2. De opdrachtgever heeft geen budget; 3. De opdrachtgever heeft de focus op andere aspecten; 4. De opdrachtgever heeft geen voldoende kennis in huis.	De implementatie wordt niet uitgevoerd, waardoor er geen CO2 wordt gereduceerd in de betonketen in dit specifieke project en de opgestelde doelstellingen niet worden behaald. Daarnaast kunnen er bij controle sancties worden opgelegd m.b.t. kosten.	3	5	5	3	1	42	OG	In het stroomschema een duidelijke handreiking geven hoe het tendersteam de opdrachtgever kan stimuleren om uit te vragen of te beoordelen op duurzaamheid / CO2-reductie in de betonketen.
3	Implementatiestappen	Ondanks dat er wordt gegund op duurzaamheid, worden de implementatiestappen niet uitgevoerd.	1. Geen controle in de uitvoering op de contracteisen / gunningscriteria; 2. Gemakzuchtigheid binnen het projectteam; 3. Focus op andere aspecten, zoals tijd, kwaliteit of kosten.	De implementatie wordt niet uitgevoerd, waardoor er geen CO2 wordt gereduceerd in de betonketen in dit specifieke project en de opgestelde doelstellingen niet worden behaald. Daarnaast kunnen er bij controle sancties worden opgelegd m.b.t. kosten.	2	5	5	5	4	38	Van der Ven (ON) / OG	Oprichtgever moet een BPKV sanctie opleggen (met bonus malus systeem).
4	Beschikbaarheid middelen en producten	Onvoldoende beschikbaarheid van middelen en producten voor het realiseren van CO2-reductie.	1. Ontwikkelingen worden niet doorgezet; 2. Nieuwe wet- en regelgeving (bijv. door nieuw kabinet) die de huidige plannen van tafel schuiven; 3. CO2-tax komt niet van de grond; 4. Te hoge investeringen i.c.m. weinig tot geen subsidies.	Stagnatie in het implementatieproces.	2	3	5	3	3	28	Politiek	Van der Ven heeft hier geen invloed op en kan dus geen beheersmaatregelen treffen, her risico blijft gelijk.
5	Communicatie	Onvoldoende interne communicatie over de nieuwe plannen m.b.t. CO2-reductie in de betonketen.	Geen interne communicatie en overdracht na afronding van dit afstudeeronderzoek.	De implementatie wordt niet uitgevoerd, waardoor er geen CO2 wordt gereduceerd in de betonketen en de opgestelde doelstellingen niet worden behaald.	2	5	5	3	1	28	Hester Aanen	Communicatieplan toevoegen.
6	Bereikbaarheid leveranciers	Leveranciers zijn niet bereid tot het aanleveren van de LCA-gegevens, en het aanleveren van duurzame oplossingen m.b.t. CO2-reductie in de betonketen.	1. Het verlopen van langdurige samenwerkingen; 2. Onvoldoende leveranciers om te contracteren.	1. Weinig keuze in leveranciers; 2. Stagnatie in het implementatieproces; 3. Stagnatie in het voorbereidingsproces.	2	3	4	3	3	26	Van der Ven (ON)	Toevoegen van een regeling dat offertes worden beoordeeld op duurzaamheidsprestaties.
7	Duurzaamheidscoördinator	De duurzaamheidscoördinator neemt ontslag, om wat voor reden dan ook.	Takenpakket m.b.t. implementatie van de duurzaamheidscoördinator wordt niet meer uitgevoerd.	1. Stagnatie in het implementatieproces; 2. Mogelijke ondercapaciteit op de afdeling KAM.	2	3	4	3	1	22	Van der Ven (ON)	- Duurzaamheidscoördinator goed inwerken; - Strenge sollicitatieprocedure; - Instellen proeftijd, tussentijdse functioneringsgesprekken.
8	Beschikbaarheid vakkennis	Onvoldoende beschikbaarheid van vakkennis.	1. Schaarste van beschikbaarheid in het inhuren van adviseurs; 2. Geen eigen mensen in huis met voldoende vakkennis.	1. Stagnatie in het implementatieproces; 2. Kwaliteitsverlies in planvorming / voorbereiding / uitvoering.	2	3	3	3	1	20	Van der Ven (ON)	Medewerkers intern van vakkennis voorzien, bijvoorbeeld door het gebruik van de maatgellijst of de cursus CO2 arm aanbieden / uitvragen.
9	Testen implementatieplan	De testen uit het implementatieplan leveren negatieve resultaten op.	1. Geen sturing vanuit directie; 2. Het belang (CO2-reductie) wordt niet gezien; 3. Gebrek aan tijd; 4. Gebrek aan communicatie; 5. Conservativiteit binnen de organisatie; 6. Het implementatieplan deugt niet; 7. De opdrachtgever werkt niet mee.	Het implementatieplan moet herschreven worden. Doordat de implementatie het eerste jaar niet is uitgevoerd wordt er geen CO2 gereduceerd in de betonketen en worden de opgesteld doelstellingen niet behaald.	1	3	5	3	1	12	Van der Ven (ON)	Zo veel mogelijk testen al tijdens de afstudeerperiode inplannen, daarnaast: elk jaar een evaluatiesessie inplannen op het implementatieplan.
10	Registratie- en monitoringstool	De registratie- en monitoringstool werkt niet naar behoren en wordt niet gebruikt.	1. Geen tijd voor het invullen; 2. Geen eis vanuit de opdrachtgever dat stortplannen en formulieren worden ingevuld; 3. Onduidelijkheid over het invullen van de tool.	De CO2-uitstootgegevens worden niet verzameld, waardoor er geen inzicht is op het halen van de doelstellingen.	1	1	5	4	1	11	Van der Ven (ON)	- Toevoegen van een handleiding voor gebruik; - Uitleg tijdens het uitvoerings- en bedrijfsbureauoverleg; - Testen uitvoeren tijdens de afstudeerperiode.

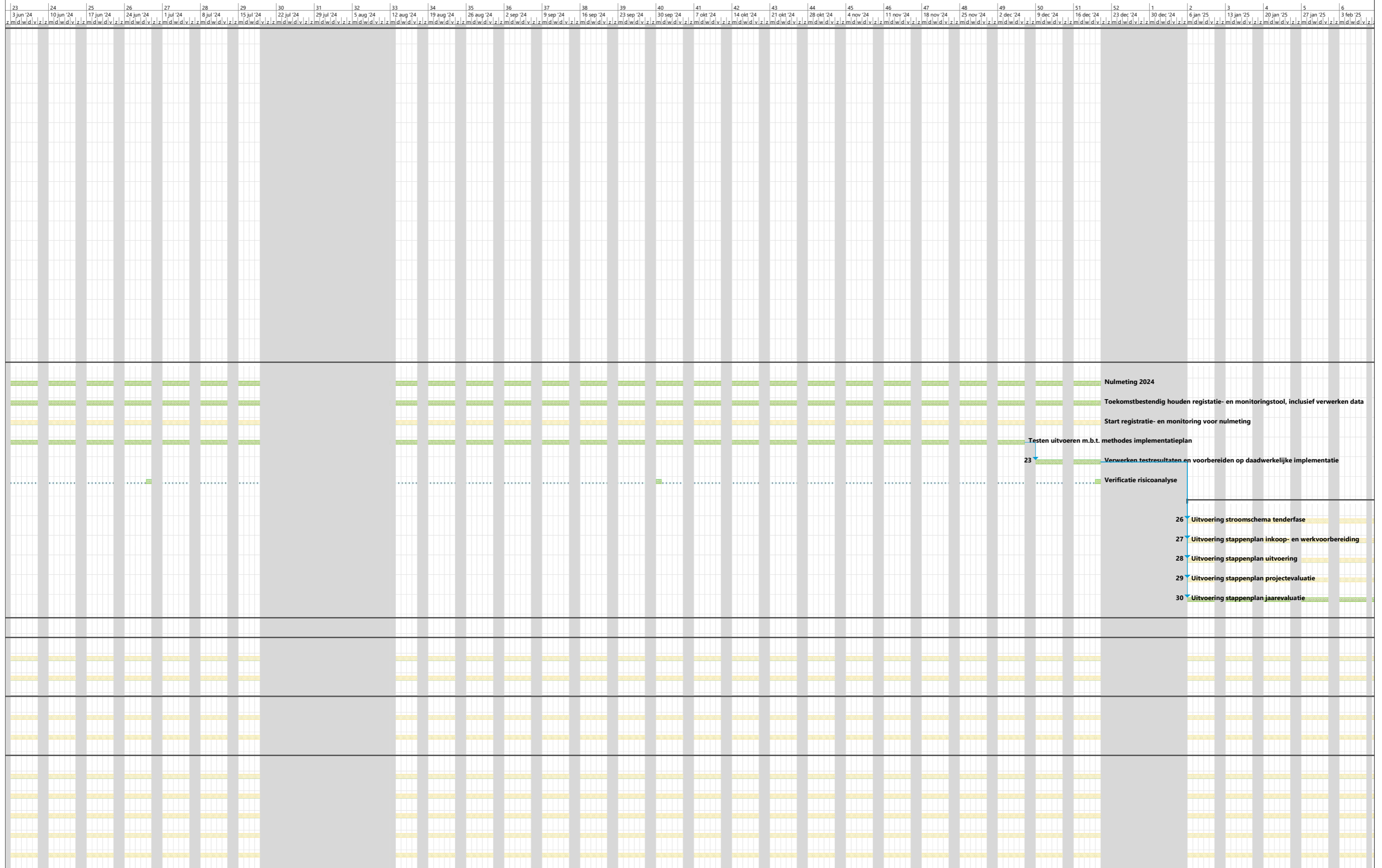
Scores kans	Scores gevolg tijd*	Score gevolg Kwaliteit	Score gevolg Kosten	Score gevolg CO2-reductie
0 - Komt niet voor	0 : Geen gevolgen	0 - Geen invloed	0 - Geen meerkosten	0 - Geen invloed op CO2-reductie
1 - Onwaarschijnlijk	1 : 0 t/m 2 weken	1 - Geringe invloed (neg.)	1 - tot € 5000	1 - Geringe invloed (neg.) op CO2-reductie
2 - klein	2 : 2 t/m 4 weken	2 - Matige invloed (neg.)	2 - € 5000 - € 10.000	2 - Matige invloed (neg.) op CO2-reductie
3 - Gemiddeld	3 : 4 t/m 8 weken	3 - Slecht	3 - € 10.000 - € 50.000	3 - Slechte invloed op CO2-reductie
4 - Waarschijnlijk	4 : 8 t/m 12 weken	4 - Beneden norm	4 - € 50.000 - € 100.000	4 - Beneden norm, invloed op CO2-reductie
5 - Vrijwel zeker	5 : > 12 weken	5 - Zeer slecht	5 - > € 100.000	5 - Zeer slechte invloed op CO2-reductie

15. Bijlage - Planning

Op de volgende pagina's is de implementatieplanning opgenomen voor 2024 en de maatregelplanning voor vanaf het jaar 2025, als onderdeel van hoofdstuk 4.1 uit het implementatieplan.



Project: Planning terrein Datum: woe 13-12-23
 Taak Splitsing Mijlpaal Samenvatting
 Projectsamenvatting Inactieve mijlpaal Inactieve samenvatting
 Externe taken Inactieve taken Externe mijlpaal
 Deadline Projectteam Hester Aanen Duurzaamheidscoördinator



Project: Planning terrein
 Datum: wo 13-12-23

Taak Splitsing

Mijlpaal Samenvatting

Projectsamenvatting Inactieve taken

Inactieve mijlpaal Inactieve samenvatting

Externe taken Externe mijlpaal

Deadline Projectteam

Hester Aanen Duurzaamheidscoördinator

Planning implementatie maatregelen vanaf 2025 op jaarniveau



Id	Ta	Taaknaam	Duur	Begindatum	2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2035 | 2036											
					Gantt chart visualization of implementation timeline											
1		Te draaien pilots	1301 dagen	maa 6-1-25	Te draaien pilots											
2		Pilots draaien met:	1301 dagen	maa 6-1-25	Pilots draaien met:											
3		Cementsteen recycling	519 dagen	maa 6-1-25	3 Cementsteen recycling											
4		Waterstof als brandstof	519 dagen	maa 6-1-25	4 Waterstof als brandstof											
5		Alkalische bindmiddelen: geopolymere	519 dagen	maa 6-1-25	5 Alkalische bindmiddelen: geopolymere											
6		Slimme transportplanning	519 dagen	maa 6-1-25	6 Slimme transportplanning											
7		Afvangen CO2 (CCU/S)	780 dagen	din 5-1-27	7 Afvangen CO2 (CCU/S)											
8		De te implementeren maatregelen	2085 dagen	maa 6-1-25	De te implementeren maatregelen											
9		Alternatieve grondstoffen	2085 dagen	maa 6-1-25	Alternatieve grondstoffen											
10		Klinkervervanging door kalksteenmeel	1301 dagen	maa 6-1-25	10 Klinkervervanging door kalksteenmeel											
11		Secundaire grondstoffen	2085 dagen	maa 6-1-25	11 Secundaire grondstoffen											
12		Hybride beton	2085 dagen	maa 6-1-25	12 Hybride beton											
13		Alternatieve wapening	2085 dagen	maa 6-1-25	13 Alternatieve wapening											
14		Alkalische bindmiddelen: geopolymere	1566 dagen	vri 1-1-27	14 Alkalische bindmiddelen: geopolymere											
15		Verduurzaming levenscyclusfasen beton	2085 dagen	maa 6-1-25	Verduurzaming levenscyclusfasen beton											
16		Verduurzaming transportfase	2085 dagen	maa 6-1-25	Verduurzaming transportfase											
17		Waterstof als brandstof	1566 dagen	vri 1-1-27	17 Waterstof als brandstof											
18		Elektrisch transport	2085 dagen	maa 6-1-25	18 Elektrisch transport											
19		Slimme transportplanning	1566 dagen	vri 1-1-27	19 Slimme transportplanning											
20		Duurzame brandstoffen	2085 dagen	maa 6-1-25	20 Duurzame brandstoffen											
21		Verduurzaming bouwfase	2085 dagen	maa 6-1-25	Verduurzaming bouwfase											
22		Verduurzaming productieproces	2085 dagen	maa 6-1-25	Verduurzaming productieproces											
23		Processen	2085 dagen	maa 6-1-25	Processen											
24		Materiaalbesparing: slim ontwerpen	2085 dagen	maa 6-1-25	24 Materiaalbesparing: slim ontwerpen											
25		Toepassing versnellers	2085 dagen	maa 6-1-25	25 Toepassing versnellers											
26		Hergebruik betonnen elementen	2085 dagen	maa 6-1-25	26 Hergebruik betonnen elementen											
27		Cementsteen recycling	1566 dagen	vri 1-1-27	27 Cementsteen recycling											
28		Afvangen CO2 (CCU/S)	784 dagen	din 1-1-30	28 Afvangen CO2 (CCU/S)											

Project: Datum: woe 13-12-23	Taak	Samenvatting	Inactieve mijlpaal	Externe mijlpaal	Hester Aanen
	Splitsing	Projectsamenvatting	Inactieve samenvatting	Deadline	Duurzaamheidscoördinator
	Mijlpaal	Inactieve taken	Externe taken	Projectteam	Projectteam

Tabel- en figuurlijst

Figuurlijst

Figuur 1: Stroomschema tenderafdeling.....	3
Figuur 2: Elektrische vrachtwagen.....	9
Figuur 3: Standaard dashboard CO2-uitstoot, registratie- en monitoringstool	10

Tabellijst

Tabel 1: Ondertekenaars Betonakkoord	5
Tabel 2: CSC-gecertificeerde leveranciers.....	6
Tabel 3: Aanbevolen leveranciers m.b.t. duurzaamheid in de betonketen	7
Tabel 4: Aanbevolen partners m.b.t. duurzaamheid in de betonketen	7
Tabel 5: Inventarisatie betonwerk	13
Tabel 6: Risicoanalyse	45

Literatuurlijst

- ▶ Aanen, H. (2023). *Maatregellijst*. Brakel: Van der Ven.
- ▶ Betonakkoord. (sd). *Ondertekenaars: deelnemers en sympathisanten*. Opgeroepen op 5 december, 2023, van Betonakkoord: <https://www.betonakkoord.nl/ondertekenaars/>
- ▶ Betoniek. (2011, 8 november). Oud beton wordt jong beton. *Betoniek*, p. 18. Opgehaald van <https://www.betoniek.nl/artikel/15/19-oud-beton-wordt-jong-beton>
- ▶ Concrete Sustainable Council. (sd). *Gecertificeerde projecten*. Opgeroepen op 9 december, 2023, van CSC toolbox: <https://toolbox.csc.eco/certifiedProjects>
- ▶ Heezik, M. v. (2023). *Van der Ven*. Opgeroepen op 8 december, 2023, van LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/mark-van-heezik-66648759/recent-activity/all/>
- ▶ Rutte groep. (sd). *Rutte beton*. Opgeroepen op 8 december, 2023, van Rutte groep: <https://www.ruttegroep.nl/rutte-beton/>
- ▶ Struyk Verwo Infra. (sd). *Duurzaam betonnen bestrating? Kies voor cementvrij en circulair beton*. Opgeroepen op 8 december, 2023, van Struyk Verwo Infra: <https://www.struykverwoinfra.nl/nieuws.html/seocode/N/nieuwsbericht/393>
- ▶ van Gent, P. (2021). *Road map CO2*. Opgehaald van Betonakkoord: https://www.betonakkoord.nl/wp-content/uploads/sites/43/166796/road_map_co2_januari_2021_versie_1_2.pdf

5. Interviews

5.1 Interview directie – [REDACTED]

Gegevens:

Bedrijf : G. van der Ven B.V. Aannemingsbedrijf
 Adres : Van Heemstraweg 2
 Datum : 11-10-2023
 Geïnterviewde : [REDACTED]
 Functie : [REDACTED]

Vragen m.b.t. deelvraag 3:

1. **Welke huidige maatregelen worden er getroffen door aannemingsbedrijf G. van der Ven B.V. in het kader van duurzaamheid en hoe luiden de doelstellingen die hierbij horen?**
 - ▶ Mogelijkheid tot het realiseren van een emissieloze bouwplaats voor 2025;
 - ▶ Verduurzamen (elektrificeren) van het materieelpark (al het klein materieel en gereedschap / groot materieel wanneer mogelijk) inclusief het investeren in opslagcapaciteiten van eigen opgewekte groene energie;
 - ▶ Verduurzamen van het kantoor en de gebouwen op het terrein.

2. **Waar worden deze maatregelen vastgelegd (verslag / document etc.)?**

In diverse documenten, dit zou ik even navragen aan de KAM-afdeling.

Antwoord: in de strategiesessies worden deze doelstellingen vastgelegd, het duurzaamheidsplan is onderdeel van het strategieplan. Daarnaast worden de doelstellingen specifiek m.b.t. CO₂-reductie vastgelegd in het energiemanagementplan.

3. **Wist u dat beton voor ruim 65% van de totale CO₂-uitstoot (scope-3) verantwoordelijk is?**

Nee.

4. **Worden er momenteel al maatregelen getroffen voor reductie van de CO₂-uitstoot van beton, en zijn hier ook bedrijfsdoelstellingen voor?**

Nee, we zijn wel bezig met de reductie van CO₂-uitstoot, maar niet specifiek voor beton. Wel proberen we altijd het ontwerp te optimaliseren (vanuit kosten opzicht), en zijn er soms eisen in het bestek omtrent de betonsamenstelling. Ook hebben we bij het project Moerriool polymeer-beton toegepast, waarbij een hoop CO₂ en m³'s beton zijn bespaard, echter was dit niet persé in het opzicht van CO₂-reductie, maar in het opzicht van de arbeidsomstandigheden.

5. **Wat vindt u van de nieuwe doelstelling: "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"?**

Een prima doelstelling, waarom geen 30% en 50%? (is na toelichting HA duidelijk)

Misschien moeten we deze nieuwe, actuele doelstelling ook meenemen in ons beleid?

6. Wat zijn de toekomstplannen op het gebied van CO₂-reductie van beton binnen Van der Ven?

Momenteel hebben we geen SMART toekomstplannen. Wel willen we steeds meer naar prefab en hol bouwen en willen we de techniek 3D printen ook gaan toepassen.

7. Kent u andere bedrijven in de branche die al bezig zijn met de CO₂-reductie van beton? Zo ja, wie en hoe pakken ze dat aan?

Hooguit leveranciers van beton (producten) in optimalisatie van hun productieproces.

8. Staat u er voor open om te gaan werken met aangepaste werkmethodeken in zowel de ontwerpfase als in de uitvoering om de CO₂-uitstoot van beton te kunnen reduceren, ook als dit geld kost?

Ja, maar een werk moet aanneembaar blijven en winstgevend zijn. Hiervoor moeten opdrachtgevers ook in de toekomst projecten op gaan gunnen (EMVI-criteria) om investeringen terug te kunnen verdienen. Misschien is het mogelijkheid om in de Nota van Inlichtingen hier al vragen over te stellen om de opdrachtgever hiervan bewust te maken.

5.2 Interview directie – [REDACTED]

Gegevens:

Bedrijf : G. van der Ven B.V. Aannemingsbedrijf
Adres : Van Heemstraweg 2
Datum : 16-10-2023
Geïnterviewde : [REDACTED]
Functie : [REDACTED]

Vragen m.b.t. deelvraag 3:

- 1. Welke huidige maatregelen worden er getroffen door aannemingsbedrijf G. van der Ven B.V. in het kader van duurzaamheid en hoe luiden de doelstellingen die hierbij horen?**

Mogelijkheid tot het realiseren van een emissieloze bouwplaats voor 2025. Hierbij hoort de maatregel van het elektrificeren van het materieelpark: voornamelijk klein materieel, het grote materieel deels (in economisch opzicht).

Daarnaast willen we in de nieuw gebouwde loods een ruimte faciliteren om te kunnen prefabriceren.

- 2. Waar worden deze maatregelen vastgelegd (verslag / document etc.)?**

In het Energiemanagement Plan. Ik ben het er mee eens dat we dit duidelijker moeten vastleggen en naar buiten moeten brengen.

- 3. Wist u dat beton voor ruim 65% van de totale CO₂-uitstoot (scope-3) verantwoordelijk is?**

Nee.

- 4. Worden er momenteel al maatregelen getroffen voor reductie van de CO₂-uitstoot van beton, en zijn hier ook bedrijfsdoelstellingen voor?**

Nee. We sturen hier niet op en hebben onze focus meer op het product zelf. Ik zie dit wel als een kans voor de tenderafdeling.

Voor een aanbesteding van het gemaal Commandeurspolder hebben wij een prijs moeten maken, inclusief optimalisatie op basis van duurzaamheid. Misschien staan hier voor jou nog wat interessante dingen in en weet je hoe we er nu over nadenken.

- 5. Wat vind u van de nieuwe doelstelling: "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"?**

Een prima doelstelling als er voldoende uitdaging in zit (dus niet te halen is met een andere berekenmethode) maar het wel praktisch haalbaar is voor Van der Ven.

- 6. Wat zijn de toekomstplannen op het gebied van CO₂-reductie van beton binnen Van der Ven?**

Ik ben vooral benieuwd waar we nu staan en hoe we dit op een duidelijke manier aan onze medewerkers kunnen laten zien (feeling). Daarnaast ben ik benieuwd waar onze invloed ligt en wil ik het als parameter meenemen als startvoorwaarde in het brede perspectief. Hiervoor zou ik graag een actieblad willen zien hoe we hiermee om kunnen gaan.

- 7. Kent u andere bedrijven in de branche die al bezig zijn met de CO₂-reductie van beton? Zo ja, wie en hoe pakken ze dat aan?**

Voornamelijk fabrikanten, bijvoorbeeld [REDACTED] Daarnaast ken ik bij [REDACTED] iemand die volle bak met duurzaamheid bezig is, kijk maar even op: [REDACTED]

- 8. Staat u er voor open om te gaan werken met aangepaste werkmethodeken in zowel de ontwerpfase als in de uitvoering om de CO₂-uitstoot van beton te kunnen reduceren, ook als dit geld kost?**

Ja, we willen en moeten als Van der Ven toekomstproof zijn.

5.3 Conclusie

Van der Ven heeft al aanzienlijke vooruitgang geboekt op duurzaamheidsgebied, met ambitieuze doelstellingen voor emissiereductie van 2021 tot 2030. Opvallend is echter het ontbreken van specifieke maatregelen voor CO₂-reductie in de betonketen. Huidige genomen maatregelen voor CO₂-reductie in beton waren niet duurzaamheidsgericht. Met betrekking tot het bestaande beleid zijn de volgende conclusies geformuleerd:

- ▶ Doelstellingen worden momenteel niet duidelijk in één document vastgelegd. Daarnaast worden ze niet geregistreerd en gemonitord waardoor ze niet worden behaald;
- ▶ Momenteel zijn er nog geen specifieke maatregelen met betrekking op CO₂-reductie van beton. De doelstelling uit dit onderzoek moet daarom meegenomen worden in het duurzaamheidsbeleid;
- ▶ Er is momenteel onvoldoende capaciteit binnen de KAM-afdeling is om actief betrokken te zijn bij de uitvoering van het duurzaamheidsbeleid. Om de uiteindelijke implementatie van de resultaten van dit onderzoek mogelijk te maken, is het noodzakelijk om een duurzaamheidscoördinator aan te stellen.

6. Gesprekken

6.1 Medestudent [REDACTED]

Gegevens:

Medestudent : [REDACTED]
 Adres : Teams
 Datum : 18-10-2023

Inleiding

[REDACTED] is een medestudent van mij en afstudeerder op het onderwerp: [REDACTED]. Omdat hij ook bezig is met onderzoek in de betonketen hebben wij samen gespard over de voordelen van prefabricage met betrekking tot CO₂-reductie. [REDACTED] gaf namelijk met een eerdere atelierbijeenkomst op school aan dat de voordelen van prefabricage met betrekking tot CO₂-reductie goed onderzocht moeten worden.

Gesprek

Het gesprek draaide om de volgende vraag:

“Waar zie jij de voordelen van prefabricage m.b.t. CO₂-reductie in vergelijking met in het werk storten?”

[REDACTED] ziet vooral mogelijkheden in het ontwerp, en dan voornamelijk in het “hol bouwen”. Daar is volgens hem de meeste besparing in betongebruik en dus ook in CO₂-uitstoot te halen. Daarnaast geeft hij aan dat hij vooral werkt met de niveaus van circulariteit (10 R's), als het gaat om vermindering van de CO₂-uitstoot:

- ▶ **Refuse:** weigeren / voorkomen gebruik;
- ▶ **Reduce:** gebruik minder grondstoffen;
- ▶ **Redesign:** herontwerp met oog op circulariteit;
- ▶ **Re-use:** product hergebruik (2^e hands);
- ▶ **Repair:** onderhoud en reparatie;
- ▶ **Refurbish:** product opknappen;
- ▶ **Remanufacture:** nieuw product van 2^e hands;
- ▶ **Re-purpose:** hergebruik product maar anders;
- ▶ **Recycle:** verwerking en hergebruik materialen;
- ▶ **Recover:** energie terugwinning.



Figuur 29: De ladder van Lansink (R-ladder)
 Overgenomen uit: De week van de circulaire economie door Context architecten, 2019.
 Geraadpleegd op 6 december 2023, van <https://www.contextarchitecten.nl/2019/01/17/de-week-van-de-circulaire-economie/>.
 Copyright 2019, Context architecten.

Hierbij zijn de niveaus minder grondstoffen en hergebruik bij zijn onderzoek het meest van toepassing (Context architecten, 2019).

Vervolgens gaf ik aan [REDACTED] aan dat het mij opviel dat in de prefabricage voornamelijk CEM I (Portlandcement) wordt toegepast. CEM I is de meest CO₂-intensieve cementsoort en ik vroeg hem daarom of hij kansen ziet in het gebruik van andere mengselsamenstellingen, omdat het cement in het mengsel voor een groot deel de CO₂-uitstoot in de keten bepaald. [REDACTED] geeft aan dat hij dit niet ziet gebeuren. Bij prefab productielocaties draait het om productie, de sterkte van het betonelement moet zo snel mogelijk behaald worden om vanuit de

productiehal getransporteerd te kunnen worden. Door in plaats van CEM I een andere cementsoort toe te passen, zoals CEM III/B (hoogovencement) is er meer uithardingstijd benodigd en kan er niet voldoende productie worden gedraaid. Daarnaast is hier geen voldoende opslag voor en moeten de hallen uitgebreid worden, wat weer extra kosten met zich mee brengt. Dit zou dus alleen gerealiseerd kunnen worden met minder vraag.

Ik geef aan dat ik zijn redenatie begrijp, vervolgens geef ik aan wat de verschillen zijn met gebruik van CEM I ten opzichte van CEM III/B. ■■■ wist niet dat de verschillen zo groot waren. Hij snapt mijn opmerking dat er in combinatie met hol bouwen en mengselsamenstelling een hoop CO₂-reductie te halen valt.

Vervolgens hebben we het nog even over de verschillen van in het werk storten en prefabricage. Ik geef aan dat er bij in het werk gestorte constructies bijna altijd massief wordt ontworpen, bij prefabricage is dit niet zo en daarom is dit dus een voordeel. Echter is het voordeel van in het werk storten weer dat er veel vaker mengsels worden toegepast met minder Portlandcement. Door dus slim te ontwerpen en mengsels toe te passen met weinig Portlandcement kan in beide situaties een hoop CO₂ worden gereduceerd.

■■■ geeft aan dat aannemers ook hun planning moeten optimaliseren, omdat er in de praktijk vaak nog veel Portlandcement wordt toegepast vanwege tijdsdruk. Ik geef vervolgens aan dat minder te ervaren en mogelijkheden zie in het langer uitharden van beton, maar dit ligt natuurlijk ook aan de sector waar het beton in wordt toegepast (woningbouw / utiliteitsbouw / infra).

Vervolgens vraagt ■■■ hoe het dan zit met het cementgebruik in Nederland. Hij verwacht dat er al veel meer CEM III/B wordt toegepast in plaats van CEM I. Ik geef aan dat dat niet zo is. De prefabricage is goed voor zo'n 45% van het betongebruik in Nederland, de betonmortel voor zo'n 55%. In de prefabricage is 56% van het toegepaste cement Portlandcement. Voor betonmortel ligt dit percentage op 19% volgens het onderzoek van de CE Delft.

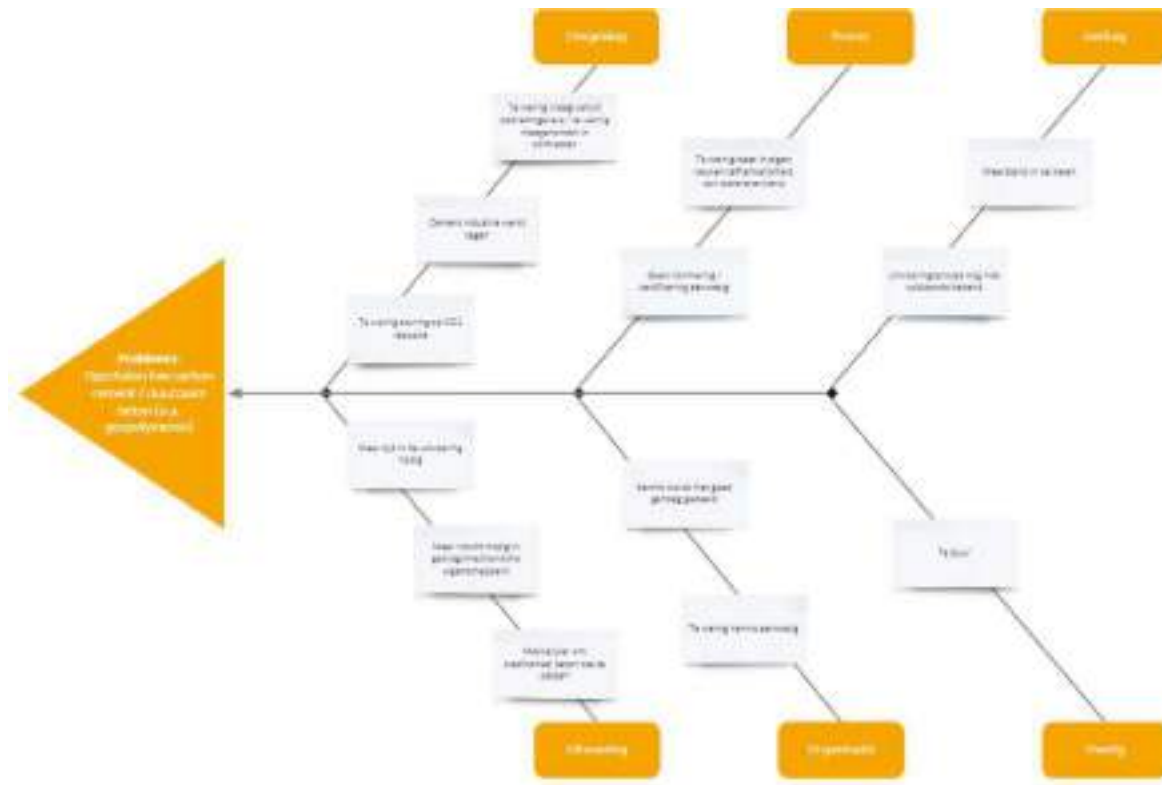
Daarna hebben we het nog even over de ingevoerde CO₂-tax in Noorwegen en Zweden. ■■■ vraagt of ik dat zie werken in Nederland. Ik geef aan dat ik zeker denk dat het een positieve invloed gaat hebben, als je meer gaat betalen voor de uitstoot van CO₂, dan wordt namelijk het kostenplaatje beïnvloed. Wel zou dit dan ingevoerd moeten gaan worden door de overheid.

Als laatste hebben we het nog over de doelstellingen van het betonakkoord, 50% CO₂-reductie in de betonketen in 2030 ten opzichte van 1990. ■■■ geeft aan dat hij denkt dat dit niet haalbaar is, ondanks dat we al heel ver zijn, zijn de laatste percentages het moeilijkste haalbaar, omdat de grootste stappen dan al zijn gezet. Ik geef aan dat ik het een realistische doelstelling vind, omdat er momenteel tal van innovaties in de markt zijn die de komende jaren worden uitgerold welke voor forse CO₂-reductie kunnen zorgen.

Conclusie

In de prefab industrie valt de meeste CO₂-reductie te behalen in het ontwerp (hol bouwen in plaats van massief). Echter valt er ook veel reductie te behalen in het toepassen van een andere cementsoort, al moet daarvoor het productieproces wel veranderen (inclusief doorlooptijden). Bij in het werk storten valt naast de mengselsamenstelling (wat al veel wordt toegepast) de meeste CO₂-reductie te halen in het hol bouwen.

In het onderstaande diagram is de probleem analyse weergegeven die wij in onze groep hebben gemaakt:



Figuur 30: Probleem analyse

Afsluiting

Als laatste heeft iedere groep zijn of haar dilemma gepresenteerd en zijn de volgende vragen behandeld:

- ▶ Intrigerende en ingewikkelde vraag (probleem);
- ▶ Typerende oorzaken;
- ▶ Vervolg voor CoP, ja / nee?;
- ▶ Deze mensen vormen de CoP.

Per dilemma zijn de typerende oorzaken die wij hebben gezien weergegeven:

Acceptatie van innovaties:

- ▶ Er wordt voornamelijk vanuit standaarden gedacht / gewerkt (conservatief);
- ▶ Onbekendheid in de ontwikkelingen en innovaties,

RAW-eisen:

- ▶ Geen capaciteit en/of prioriteit;
- ▶ Bij opdrachtgever / opdrachtnemer?;
- ▶ Onbekend wie je moet hebben.

Fossielvrij beton:

- ▶ Milieuschade zit niet in betonprijs;
- ▶ Geen dwang (vrijblijvende afspraken) → geen vraag;
- ▶ Opties 'geschikt', maar niet toegepast.

Gebruik grondstoffen:

- ▶ We gaan nu niet optimaal om met grondstoffen;
- ▶ Kennis over schaarste en materiaal balans;
- ▶ Samenwerking ontbreekt.

Innovaties opschalen:

- ▶ Weinig vraag vanuit opdrachtgevers;
- ▶ Te weinig kennis;
- ▶ "te" duur;
- ▶ Normering;
- ▶ Afhankelijkheid van toeleveranciers;
- ▶ Weerstand in de keten;
- ▶ Te weinig baas in eigen keuken.

Restlevensduur:

- ▶ Gebrek aan kennis, modellen, samenwerking en opleiding.

Wapeningseisen:

- ▶ Kennis en kunde ontbreekt;
- ▶ Verantwoordelijkheid;
- ▶ Opknippen met beperkte scope en risico;
- ▶ Wet- en regelgeving, en normen;
- ▶ Incentives.

Ik heb me aangesloten bij de COP van ons dilemma: "Hoe kunnen we innovaties op het gebied van CO₂-arm beton sneller opschalen?", waarbij we de komende tijd verder willen gaan met het oplossen van dit probleem.

Het was een ontzettend leerzame ochtend, vooral heel mooi om te zien dat de gehele betonketen aanwezig was en iedereen hetzelfde doel heeft: het reduceren van CO₂-uitstoot in de betonketen. Alleen samen kunnen we reduceren!

Alle foto's zijn opgenomen in hoofdstuk 12: "Fotoverslag".

[Redacted text block containing multiple paragraphs of blacked-out content]

Conclusie

In deze conclusie heb ik benoemd wat ik meeneem in mijn scriptie:

- ▶ Samenwerking in de keten is heel belangrijk, ga daarvoor in gesprek met elkaar, er moet namelijk wel initiatief worden genomen. Een bouwteam kan hierin helpen.;
- ▶ De hiërarchie voor CO₂-reductie van beton;
- ▶ Toevoegingen / aanpassingen voor maatregellijst;
- ▶ Hoe vermijd je het uitvragen van schijnoplossingen?;
- ▶ Hoe kunnen opdrachtgevers effectiever uitvragen, en waarom vinden ze dat nu nog zo moeilijk?;
- ▶ Ontstaan van kip-ei probleem tussen opdrachtgevers en inschrijvers;
- ▶ Contractvormen / beoordelingsmethodieken, voor in het stappenplan voor de tenderafdeling;
- ▶ Mogelijkheid tot tegenstrijdigheid CO₂ en circulariteit, CO₂ gaat voor (vanwege regelgeving);
- ▶ Aanbeveling voor duurzaamheidsklasse;
- ▶ Rekentools CO₂-reductie, voor het hoofdstuk registratie- en monitoring.