



Handelingsperspectieven verduurzaming betonsector

Resultaten van zeven werkgroepen van het MVO Netwerk Beton

Rapport

Delft, november 2014

Opgesteld door:
M. (Marit) van Lieshout
G.C. (Geert) Bergsma



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

Marit van Lieshout, Geert Bergsma

Handelingsperspectieven verduurzaming betonsector

Resultaten van zeven werkgroepen van het MVO Netwerk Beton

Delft, CE Delft, november 2014

Bouw / Bouwmaterialenindustrie / Duurzaamheid / Milieudruk / Afname / Bedrijfsbeleid

Publicatienummer: 14.2A599.60

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Marit van Lieshout.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Voorwoord	5
	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
1.1	Doelstelling	9
1.2	Leeswijzer	9
2	Proces	11
2.1	Voortraject CE Delft	11
2.2	Rollen Werkgroep kansen en belemmeringen en subwerkgroepen	11
2.3	Rol CE Delft	12
3	Innovatief geopolymer	13
3.1	Introductie	13
3.2	Potentie voor vermindering milieu-impact	14
3.3	Benodigde kennisontwikkeling	15
3.4	Kansen en belemmeringen	16
3.5	Business case	17
3.6	Plan van aanpak	17
3.7	Conclusies	19
4	CSA-B-cement	21
4.1	Introductie	21
4.2	Stand van de techniek	22
4.3	Kansen en belemmeringen	24
4.4	Business case	25
4.5	Plan van aanpak	26
4.6	Conclusies	28
5	Korrelpakking optimalisatie	29
5.1	Introductie	29
5.2	Potentie voor vermindering milieu-impact	30
5.3	Stand van de techniek	31
5.4	Kansen en belemmeringen	32
5.5	Business case	33
5.6	Plan van aanpak	34
5.7	Conclusies	35
6	Smart concrete	37
6.1	Introductie	37
6.2	Potentie voor vermindering milieu-impact	38
6.3	Stand van de techniek	39
6.4	Kansen en belemmeringen	40
6.5	Business case	41



6.6	Plan van aanpak	43
6.7	Conclusies	43
7	Betonkernactivering nieuwe stijl	45
7.1	Introductie	45
7.2	Potentie voor vermindering Milieu-impact	45
7.3	Stand van de techniek	46
7.4	Kansen en belemmeringen	46
7.5	Business case	49
7.6	Plan van aanpak	50
7.7	Conclusies	52
8	Innovatieve betonrecycling-technologie	53
8.1	Introductie	53
8.2	Potentie voor vermindering milieu-impact	54
8.3	Benodigd onderzoek	57
8.4	Kansen en belemmeringen	59
8.5	Business case	60
8.6	Conclusies	62
9	Circulaire economie	65
9.1	Potentie voor vermindering milieu-impact	66
9.2	Benodigde ontwikkeling	68
9.3	Kansen en belemmeringen	69
9.4	Business case	70
9.5	Plan van aanpak	71
9.6	Conclusies	72
	Referenties	75
Bijlage A	Werkgroepleden	79



Voorwoord

Voor u ligt de beschrijving van de huidige stand van de techniek van de zeven handelingsperspectieven, die door de betonsector geïdentificeerd zijn als de meest kansrijke handelingsperspectieven voor verduurzaming van het betonegebruik op de middellange termijn.

De keuze voor deze zeven handelingsperspectieven is de uitkomst van een uitgebreid en meerjarig traject dat in 2011 is gestart met de tekening van de Green Deal Beton. Voorgaande fases richtten zich op het verkennen van de mogelijkheden voor het verduurzamen van de betonketen. CE Delft heeft hiertoe de huidige milieu-impact van de betonketen over de gehele levenscyclus in kaart gebracht (CE Delft, 2013a) en 16 mogelijke maatregelen geïdentificeerd (CE Delft, 2013b). In september 2013 zijn hieruit zeven handelingsperspectieven gekozen.

In dit rapport zijn deze opties vervolgens nader uitgewerkt door de Werkgroep Kansen en belemmeringen van het MVO Netwerk Beton en daaruit voortvloeiende subwerkgroepen.

De input en medewerking van vele partijen en experts hebben een grote rol gespeeld bij de totstandkoming van dit rapport. Wij willen de volgende personen specifiek bedanken voor het delen van hun visie en ideeën:

- Werkgroep kansen en belemmeringen;
- de leden van de verschillende subwerkgroepen.

In Bijlage A worden al deze mensen en de bedrijven die zij vertegenwoordigen genoemd.

Hoewel dit rapport in nauwe samenwerking met de bovengenoemde personen tot stand is gekomen draagt CE Delft eindverantwoordelijkheid voor de inhoud van dit rapport.





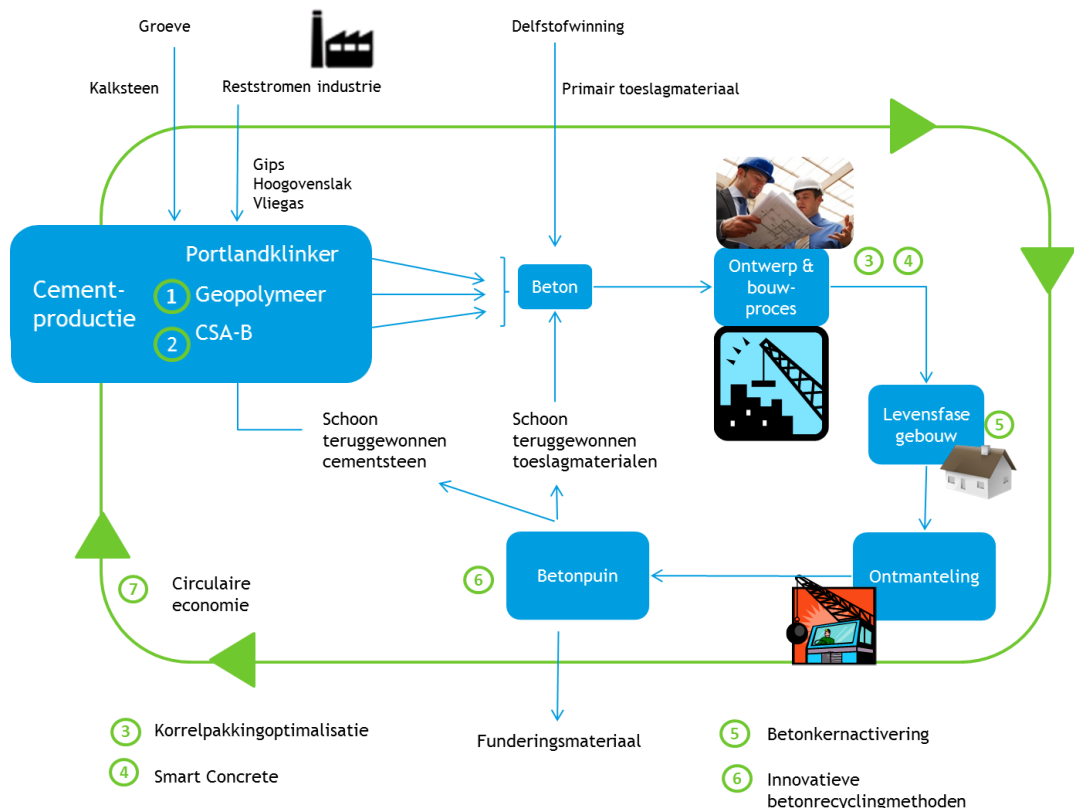
Samenvatting

Deze studie is onderdeel van het proces dat is afgesproken in de Green Deal Beton. Deze Green Deal beton is afgesloten in oktober 2011. De bedrijven, brancheorganisaties en overheden die betrokken zijn bij deze Green Deal werken samen onder de vlag van MVO Nederland in het MVO Netwerk Beton. Met de eerste set afspraken voor de korte termijn, Concreet 1.0 heeft het MVO Netwerk Beton al eerste stappen gezet in de verduurzaming van de betonketen (MVO Netwerk Beton, 2014). Op de middellange termijn worden verdergaande verbeteringen wenselijk geacht. Om deze verbeteringen te realiseren heeft het MVO Netwerk Beton zeven handelingsperspectieven uitgekozen waarmee zij op de middellange termijn mondiaal toonaangevende milieuprestaties verwacht te boeken:

1. Innovatief geopolymeer.
2. CSA-B-cement.
3. Korrelpakking optimalisatie.
4. Smart concrete.
5. Betonkernactivering nieuwe stijl.
6. Innovatieve recyclingstechnologie.
7. Circulaire economie.

Figuur 1 geeft een grafische weergave van de zeven handelingsperspectieven.

Figuur 1 Grafische weergave zeven handelingsperspectieven



De eerste zes opties zijn in een eerder project aangemerkt als kosten-effectieve mogelijkheid om significante CO₂-reducties te realiseren (CE Delft, 2013b). De zevende optie betreft de circulaire economie en omvat een aantal mogelijkheden, waarvan het verbeterpotentieel nog moeilijk te kwantificeren is, maar waar wel veel van verwacht wordt in het kader van efficiënt grondstofgebruik en het sluiten van de grondstofketen.

Eind 2014 is het de bedoeling dat het MVO Netwerk Beton middellange termijn afspraken (Concreet 2.0) gaat maken waarbij de zeven handelingsperspectieven centraal staan. Bij de voorbereiding van Concreet 2.0. bleek er behoefte te zijn aan een breed gedragen beschrijving van de handelingsperspectieven en een plan van aanpak.

Dit rapport biedt dan ook:

- huidig inzicht in de stand van de techniek;
- huidig inzicht in de kansen, belemmeringen en de business case en een plan van aanpak van ieder handelingsperspectief.

Dit rapport is tot stand gekomen door mobilisatie van de in de betonketen aanwezige kennis. Per handelingsperspectief is een subwerkgroep gestart met experts uit verschillende schakels in de betonketen. Zij werden aangestuurd door de Werkgroep kansen en belemmeringen van het MVO Netwerk Beton. De deelnemers van de verschillende (sub)werkgroepen staan vermeld in Bijlage A.

De resultaten van het overleg in de verschillende werkgroepen zijn gebundeld door CE Delft, CE Delft heeft zoveel mogelijk onderbouwing van de gepresenteerde feiten gezocht, waar dit niet beschikbaar was is terugverwezen naar de experts uit de werkgroepen. De uitkomst van dit proces is voorgelegd aan de leden van de subwerkgroepen en de Werkgroep kansen en belemmeringen, die daar hun reactie op hebben gegeven. Dit proces heeft zich een aantal keer herhaald. Voor u ligt het eindresultaat.



1 Inleiding

Deze studie is onderdeel van een meerjarig traject voor het verduurzamen van de betonketen. In 2011 is de Green Deal Beton gesloten tussen de ministeries EZ en I&M en 24 deelnemende bedrijven en 7 brancheorganisaties uit de betonketen. Zij werken samen onder de vlag van MVO Nederland in het MVO Netwerk Beton. Deze Green Deal is een ambitieverklaring voor de verduurzaming van de betonsector op de lange termijn (richting 2050). In 2012 zijn de eerste concrete werkafspraken gemaakt voor verduurzaming op de korte termijn in de vorm van het convenant: Concreet 1.0. De tekening van een tweede convenant 'Concreet 2.0' met maatregelen voor milieuverbeteringen op de middellange termijn is in voorbereiding voor eind 2014. Hierin zal het gaan om zeven handelingsperspectieven. Rijkswaterstaat heeft, in haar rol als deelnemer van het MVO Netwerk Beton, CE Delft de opdracht gegeven deze handelingsperspectieven nader uit te werken.

1.1 Doelstelling

De in de sector beschikbare kennis over de zeven handelingsperspectieven is sterk versnipperd. Tijdens de voorbereiding naar de Green Deal bleek er een behoefte te bestaan aan een breed gedragen uitwerking van deze handelingsperspectieven. Het doel is om het MVO Netwerk Beton te ondersteunen bij de verdere uitwerking van de zeven gekozen handelingsperspectieven.

Concreet gaat het om:

- bepalen wat de mogelijke vermindering van de milieu-impact is bij succesvolle marktintroductie van deze handelingsperspectieven;
- bepalen wat de kansen en belemmeringen zijn voor succesvolle marktintroductie;
- beschrijven van de business cases;
- bepalen wat de benodigde ontwikkelingen zijn om deze handelingsperspectieven te realiseren (plan van aanpak).

Daarmee dient dit rapport als achtergrondinformatie voor de gesprekken die bedrijven onderling en met de overheid voeren ter voorbereiding op het convenant 'Concreet 2.0'.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het proces dat doorlopen is om relevante informatie te vergaren. In de hoofdstukken 3 t/m 9 wordt per hoofdstuk één handelingsperspectief toegelicht. Hoofdstuk 10 geeft de referenties.

In Bijlage A staan alle leden van de verschillende werkgroepen en de bedrijven die zij vertegenwoordigen genoemd.





2 Proces

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe dit rapport tot stand is gekomen. Diverse organisaties en personen hebben bijgedragen aan deze studie.

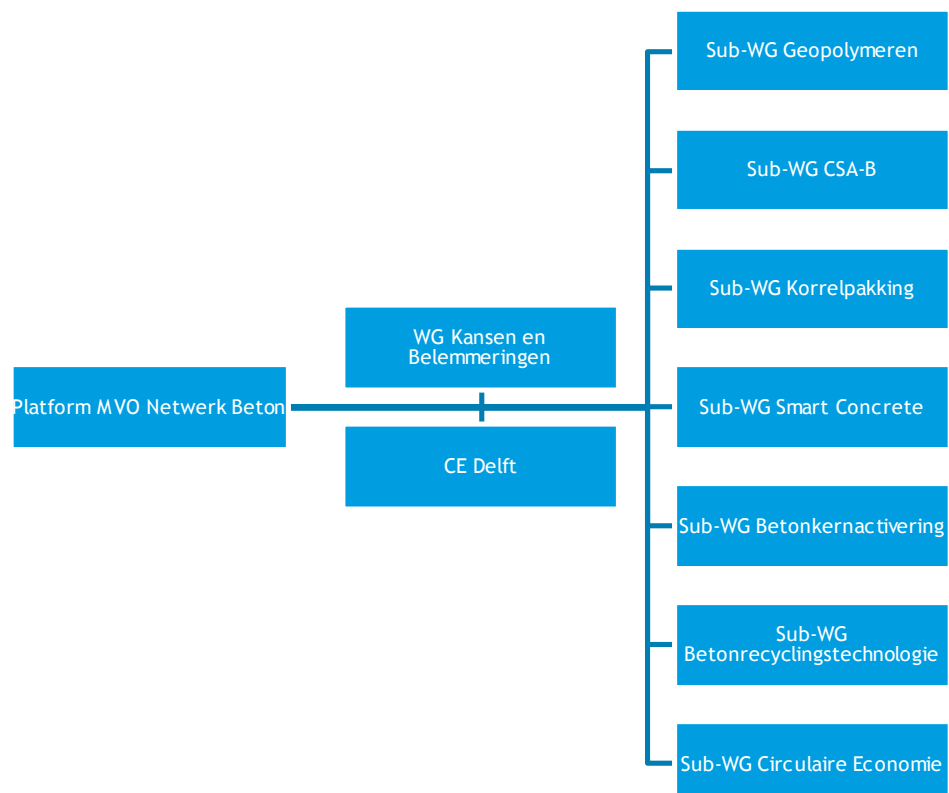
2.1 Voortraject CE Delft

In het traject voorafgaande aan deze studie heeft CE Delft twee onderzoeken uitgevoerd om de mogelijkheden voor verduurzaming van de betonketen in kaart te brengen. Het eerste onderzoek richtte zich op het bepalen van de huidige milieu-impact van de betonketen over de gehele levenscyclus (CE Delft, 2013a). In het tweede onderzoek zijn 16 opties voor verduurzaming uitgewerkt, door het opstellen van de CO₂-reductiekostencurve (CE Delft, 2013b). Tijdens de Platform bijeenkomst van 26 september 2013 zijn uit deze 16 opties zeven handelingsperspectieven gekozen om verder uit te werken door de Werkgroep kansen en belemmeringen.

2.2 Rollen Werkgroep kansen en belemmeringen en subwerkgroepen

Zoals aangegeven in Figuur 2, zijn vele partijen en experts geraadpleegd om de milieuwinst van de handelingsperspectieven zo goed mogelijk in kaart te brengen. De betrokkenheid was groot, evenals de wil om mee te werken aan verduurzaming van de betonketen.

Figuur 2 Grafische weergave van de organisatiestructuur van dit project



De meeste handelingsperspectieven betreffen innovatieve processen in een pril stadium. Dit betekent dat het belangrijk is om experts op deze gebieden zeer actief te betrekken in het proces. Per handelingsperspectief is daarom een subwerkgroep gevormd met experts uit de industrie. De voorzitters van deze subwerkgroepen zijn ook lid van de Werkgroep kansen en belemmeringen.

2.3 Rol CE Delft

De rol van CE Delft binnen dit project was enerzijds het ondersteunen van de (sub)werkgroepen door het uitschrijven van de beschikbare informatie en, anderzijds het controleren en verwerken van aangeleverde informatie om inzicht te krijgen in het potentieel van de handelingsperspectieven en de benodigde ontwikkeling voor realisatie.

De subwerkgroepen hebben CE Delft informatie aangeleverd per handelingsperspectief. Dit betrof informatie over de huidige stand van de techniek, de kansen en belemmeringen bij introductie en de kosten en baten die bepalend zijn voor de business case.

De experts hebben in de werkgroepen afgewogen wat de meest actuele gegevens en meest betrouwbare informatie is over de verschillende innovaties. Deze informatie heeft CE Delft verwerkt (zie hoofdstukken 3 t/m 9). CE Delft heeft met de experts gesproken over de betreffende handelingsperspectieven om het denkproces aan te scherpen en hypothesen te testen en experts uit te dagen om voorbij de huidige situatie te denken (out of the box). Waar nodig en mogelijk is extra navraag gedaan om aangeleverde informatie te staven. Deze resultaten zijn teruggekoppeld aan de subwerkgroepen en aan de Werkgroep kansen en belemmeringen.

De aangegeven potentiëlen voor de vermindering van de milieu-impact van beton zijn de best mogelijke inschatting op basis van informatie die beschikbaar was toen dit rapport geschreven werd. Dit rapport kan dus gezien worden als een beschrijving van *huidige* inzichten.



3 Innovatief geopolymeer

Dit hoofdstuk gaat in op handelingsperspectief 1: innovatief geopolymeer. Na een korte introductie (Paragraaf 3.1), komen de potentie voor het verminderen van de milieu-impact (Paragraaf 3.2), de benodigde kennisontwikkeling (Paragraaf 3.3), kansen en belemmeringen (Paragraaf 3.4) aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de business case (Paragraaf 3.5) en wordt een plan van aanpak opgesteld (Paragraaf 3.6). Tot slot worden de belangrijkste inzichten voor dit handelingsperspectief samengevat (Paragraaf 3.7).

3.1 Introductie

Het handelingsperspectief richt zich op de grootschalige productie en marktintroductie van innovatief en CO₂-arm geopolymeer in Nederland ter vervanging van reguliere cementen op basis van Portlandcementklinker.

Geopolymeer is een populaire term voor een zeer diverse groep van bindsystemen op basis van een wijde range aan grondstoffen. De belangrijkste bestanddelen zijn calciumaluminaten en silicaten. De gemeenschappelijke noemer van geopolymere is dat hun bindingscapaciteit alkalisch geactiveerd wordt door toevoeging van de zogenoemde activator, gewoonlijk natronloog of natriummetasilicaat (ook wel waterglas genoemd).

Hierdoor is het mogelijk dat geopolymere geproduceerd worden op basis van een mengsel van vliegas, slak en waterglas en ook op basis van vulkanische as, specifieke kleisoorten en natronloog.

In Nederland zijn twee verschillende methodes voor de productie van innovatief geopolymeer in voorbereiding:

1. Een onverwarmd 'koud' proces. De kwaliteit van het eindproduct is sterk afhankelijk van de variatie in de toegepaste grondstoffen. Het gebruik van activators is de belangrijkste oorzaak van broeikasgasemissies.
2. Een smeltproces (bij een temperatuur vergelijkbaar met de temperatuur in een cementoven). De kwaliteit van het eindproduct wordt gecontroleerd door de chemische samenstelling van de 'smelt' te monitoren en aan te passen. Broeikasemissies komen voort uit het gebruik van activators en brandstoffen¹.

Uitgaande van de voorgenomen samenstelling van polymeer, wordt de emissiereductie bij het koude proces geschat op 70-80%² ten opzichte van Portlandcement (CEM I). Bij het verwarmde proces is de reductie 60-75%² in vergelijking met Portlandcement (CEM I). De exacte CO₂-emissie hangt echter sterk af van de uiteindelijke samenstelling van het geopolymeer en het productieproces.

¹ Echter uitgaande van de bestaande praktijk bij de productie van Portlandcementklinker om alternatieve brandstoffen te gebruiken is het niet alleen technisch mogelijk, maar ook commercieel aantrekkelijk om deze emissies te voorkomen door de inzet van organische reststromen van andere processen. De CO₂-emissies die vrijkomen zijn kort-cyclisch en worden daarom niet toegerekend aan het geopolymeer.

² Op basis van vertrouwelijke LCA-resultaten, d.d. 3-7-2014.



De samenstelling van de polymeer beïnvloedt ook andere eigenschappen zoals:

- sterkteontwikkeling;
- beginsterkte;
- temperatuurbestandheid;
- gevoeligheid voor aantasting door alkalische verbindingen (ASR);
- gevoeligheid voor aantasting door vorst-dooi-zout;
- permeabiliteit van de structuur (indringing van zure verbindingen).

Daarnaast veroorzaken de verschillen in grondstofsamenstelling en productiemethodes mogelijk verschillen in prijs, in constantheid van eigenschappen en moment van marktintroductie. Hoe groot die verschillen zijn is echter op dit moment nog onduidelijk.

De verwachting van de geraadpleegde experts is dat de kwaliteit- en veiligheidsnormen, die de marktintroductie van bindsystemen voor beton reguleren bepalend zijn voor welke markten wanneer benaderd kunnen worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in vier verschillende categorieën toepassingen:

1. Ongewapende producten, met eigen productnorm op prestatie.
2. Ongewapend beton algemeen, dit gebruik valt onder de NEN EN 206 en de NEN 8005.
3. Gewapend beton, zonder risico voor aantasting van wapening (X0 en XC1).
4. Gewapend en/of voorgespannen beton, dit betreft alle overige milieuklassen.

In de huidige markt zou voor producten uit categorie 1 en 2 de kostprijs zeer bepalend voor de business case. In de categorieën 3 en 4 is er mogelijk ruimte om waarde te creëren met specifieke eigenschappen zoals verminderde gevoeligheid voor aantasting.

3.2 Potentie voor vermindering milieu-impact

Het materiaalgebruik voor de productie van beton (exclusief het staal) heeft het grootste aandeel in de milieu-impact van beton (60% van de klimaatimpact en 40% van de fijnstof). Het grootste deel (95%) van de milieu-impact van het materiaalgebruik voor de productie van beton, wordt veroorzaakt door de cementproductie (CE Delft, 2013a).

Deze klimaatimpact van de productie van cement kan sterk verlaagd worden door de inzet van geopolymeren.

Hoeveel de klimaatimpact verminderd wordt in de periode tot circa 2020 hangt sterk samen met welke markten het eerst benaderd kunnen worden.

De verwachting is dat in categorie 1 als eerste mogelijkheden voordoen voor het toepassen van geopolymeer als bindmiddel. Hierbij kan gedacht worden aan toepassingen als straatstenen, tegels, trottoirbanden, dakpannen, houtwolcementplaten en bepaalde typen rioolbuizen.



In deze toepassingen wordt volgens de experts nu al hoogovencementen (CEM III/A en CEM III/B) toegepast. De CO₂-emissie van deze cementen varieert tussen de 0,18 en 0,57 ton CO₂ per ton cement. Dit is al significant minder dan de klimaatimpact van Portlandklinkercement (CEM I) (CE Delft, 2013a).

Dit betekent dat emissiereductie door inzet van geopolymeren proportioneel lager is. Inzet van geopolymeer leidt bij vervanging van beton op basis van CEM III/B-cementen tot maximaal 45% emissiereductie en tot maximaal 67%³ bij vervanging van beton op basis van CEM III/A-cement. Hoeveel de emissiereductie precies is hangt af van het aandeel Portlandklinker in het cement dat vervangen wordt en de exacte samenstelling en productiewijze van het beton op basis van geopolymeer dat er voor in de plaats komt. Bij praktijkproeven in een later stadium zal de exacte CO₂-emissiereductie aangetoond moeten worden.

3.3 Benodigde kennisontwikkeling

Volgens de geraadpleegde experts is de benodigde technologie op industriële schaal aangetoond. De resultaten van deze testen zijn voor het verwarmde proces gepubliceerd (ASCEM, 2012).

De belangrijkste vragen richten zich op de vragen die beantwoord moeten worden om geopolymeer te kunnen toepassen in beton als bindmiddel ter vervanging van Portlandcementklinker.

Onderzoeksvragen voor het 'CUR-traject'

Zoals eerder genoemd is de toelating van een bindmiddel als geopolymeer op de markt gereguleerd. Voor categorie 1 toepassingen kan aan deze regelgeving voldaan worden via een zogenoemd CUR-traject.

Voor een brede toepassing van geopolymeren als bindmiddel in beton is het van belang dat constructeurs constructief kunnen rekenen met dit materiaal. De huidige rekenwaarden voor cementbeton zijn afgeleid van de sterkteklassen. Deze rekenwaarden zijn terug te vinden in Eurocode 2 voor het ontwerp en berekenen van betonconstructies. Een constructeur zal een antwoord willen hebben op de volgende vragen:

- Gelden voor beton met geopolymeren vergelijkbare sterkteklassen?
- Wat zijn de van de sterkteklassen afgeleiden waarden voor:
 - E-modulus, vervormingsgedrag;
 - treksterkte;
 - de coëfficiënt die rekening houdt met lange termijn effecten op de druksterkte;
 - de coëfficiënt die rekening houdt met lange termijn effecten op de treksterkte;
 - krimp en kruip.
- Is de (thermische) uitzettingscoëfficiënt vergelijkbaar met cementbeton?
- Is de aanhechtsterkte vergelijkbaar, of zelfs beter dan met cementbeton?
- Wat is de alkaliteit van het poriewater in relatie tot de bescherming van betonstaal?
- Hoe groot moet de vereiste nominale betondekking zijn in afhankelijkheid van de milieuklasse en de gekozen sterkteklasse?

³ Berekent op basis van confidentieel aangeleverde informatie van de fabrikanten over de CO₂-footprint van beton op basis van de door hun ontwikkelde geopolymeren.



- Wat weten we van de duurzaamheid is het algemeen:
 - weerstand tegen carbonatie, is dat wel of niet relevant;
 - weerstand tegen chlorideindringing;
 - weerstand tegen vorst en vorst in combinatie met dooizouten;
 - weerstand tegen sulfaat;
 - weerstand tegen zuren;
 - brandbestandheid.
- Normaal cementbeton wordt besteld op sterkteklasse en duurzaamheid (in termen van levensduur). Vervolgens wordt, afhankelijk van de verwerkingsmethode, een verwerkingsklasse gespecificeerd. De vraag is hoe beton op basis van geopolymeren gespecificeerd moet worden? Hier is nog geen breed geaccepteerde methodologie voor ontwikkeld.

3.4 Kansen en belemmeringen

Lage CO₂-footprint

- Belemmering** Verkleining van de CO₂-footprint van het beton wordt in de huidige markt voor cement en beton niet beloond. Het is geen verkoopargument.
- Kans** Als de markt systematisch projecten met een lage CO₂-footprint beloont dan hebben innovatieve geopolymeren een interessante uitgangspositie. Zoals genoemd in Paragraaf 3.2 is het potentieel voor verlaging van de CO₂-footprint van het beton significant.

Diversiteit in geopolymeren

- Kans** Zoals in de inleiding genoemd kunnen de eigenschappen van geopolymeren sterk variëren met de grondstofsamenstelling en het productieproces. Hierdoor is het mogelijk om innovatieve geopolymeren te ontwikkelen met zeer gunstige sterkte eigenschappen of met een hoge resistentie tegen zuren of alkalische materialen.
- Belemmering** Nadeel is dat de meeste geopolymeren een veel beperkter toepassingsgebied hebben dan conventioneel cement. Ook in de conventionele cementen kunnen veel verschillende soorten onderscheiden worden, maar over het algemeen zijn deze cementen toepasbaar in alle betontoepassingen. Voor geopolymeren geldt veel meer dat ze fit for purpose geproduceerd worden. Dat betekent dat veel beter gekeken moet worden in welke toepassing je welk type geopolymeer nodig hebt. Hierdoor zijn de traditionele sterkteklassen met daaraan gekoppeld de tabellen die een constructeur gebruikt niet van toepassing op geopolymeren. Er dus een andere manier van specificeren ontwikkeld moeten worden om te bepalen welke soort geopolymeer in welke toepassing gebruikt kan worden.

Er ontbreekt een norm voor geopolymeer beton

- Belemmering** De meeste alternatieve bindsystemen die ontwikkeld worden lijken in hun werking op de bestaande cementen. Hierdoor is het waarschijnlijk dat de testen die op basis van ervaring ontwikkeld zijn om de levensduur van beton te voorspellen (CUR 48) ook van toepassing zijn op deze materialen. Geopolymeren zijn dusdanig verschillend van de bestaande cementen dat het voorspellend vermogen van deze testen in twijfel getrokken kan worden. Er zal dus eerst vertrouwen moeten ontstaan dat er een test is waarmee ook de levensduur van beton op basis van geopolymeer op een betrouwbare manier voorspeld kan worden. Zodat vooraf een goede inschatting van risico's en garanties gemaakt kan worden.
- Kans** Er zou gewerkt kunnen worden aan een KOMO-keur voor geopolymeer beton dat gebruikers het vertrouwen geeft dat de levensduur van het beton verzekerd is.



Belemmering	Benodigde kennisontwikkeling Zoals beschreven in Paragraaf 3.3 is de benodigde kennisontwikkeling nog een hele uitdaging. De vraag is in hoeverre de betrokken producenten kunnen samenwerken bij de ontwikkeling van deze kennis.
Kans	Als de betrokken partijen erin slagen om optimaal samen te werken bij de kennisontwikkeling voor het normeringstraject dan biedt dit traject een kans om geopolymeren gezamenlijk op de kaart te zetten en bekendheid te geven aan de (on)mogelijkheden van de verschillende types geopolymeer bij potentiële klanten.

3.5 Business case

Bij het bespreken van de business case moet onderscheid gemaakt worden in de vier verschillende categorieën toepassingen die in Paragraaf 3.1 genoemd zijn. De markt voor de categorieën 1 en 2 (ongewapende producten) wordt gedomineerd door kostprijs van het aangeboden materiaal. Het geopolymeer biedt naar verwachting geen of onvoldoende prijsvoordeel terwijl het nog geen track record. Zolang de markt geen interesse toont in een lage CO₂-footprint van het beton, is er daarom geen reden om geopolymeer te gebruiken. De markt voor categorie 3 en 4 toepassingen (gewapende producten) biedt naar verwachting de mogelijkheid voor een aantal nichetoeepassingen voor geopolymeren. Hierbij geldt wel de beperking dat beton op basis van geopolymeren een hele nieuwe werkwijze vereist van constructeurs.

Aangezien het hierbij om niche toepassingen gaat (kleine volumes) en categorie 3 en 4 toepassingen zou het uitblijven van een marktvrage naar CO₂-arm beton de marktintroductie van geopolymeren sterk beperken en vertragen. Zodra de CO₂-footprint van het beton wel belangrijk wordt, is het mogelijk dat constructeurs voldoende ruimte hebben om zich in de mogelijkheden van geopolymeer te verdiepen en kan de business case voor de hele keten positief uitvallen omdat bij vergelijkbare kosten een veel lagere CO₂-footprint van het beton gerealiseerd kan worden. Of en in welke mate hierbij de eindafnemer een meerprijs gaat betalen is nu nog onduidelijk.

3.6 Plan van aanpak

Het plan van aanpak bestaat uit drie stappen:

1. Ontwikkeling normen voor beton op basis van geopolymeer.
2. Serie proefprojecten organiseren, uitvoeren en monitoren.
3. Nationaal Geopolymeer consortium oprichten, met als doel het verspreiden van kennis over geopolymeren.

Hieronder lichten we deze stappen toe.

Ontwikkeling regelgeving voor beton op basis van geopolymeer

Er worden hierbij twee sporen gevolgd:

1. Korte termijn toelating van gebruik van geopolymeer voor toepassingen van de eerste categorie. De verwachting van de geraadpleegde experts is dat de benodigde normen voor niet constructieve toepassing van de betreffende geopolymeren circa 3 jaar duurt en circa 200 k€ aan onderzoek kost.
2. In gang zetten van de lange termijn ontwikkelingstraject van de toelating van het gebruik van geopolymeer voor constructief beton. In dit kader is er in de CUR preadvies werkgroep gesproken over een structuur om nieuwe grondstoffen voor beton te kwalificeren voor betrouwbare toepassing in de Nederlandse markt. Op basis van het pre advies gaat een advieswerkgroep

aan het werk om het moederdocument en de structuur op te stellen. Als dat er is kan deze structuur in een pilot getest worden met beton op basis van geopolymeer. Er moet nog onderzocht worden in hoeverre de advieswerkgroep al één of meerdere pilotprojecten mee zou kunnen nemen in haar werk.

Serie proefprojecten organiseren, uitvoeren en monitoren

Zoals aangegeven in de inleiding zijn er potentieel grote verschillen tussen de verschillende types innovatief geopolymeer die in voorbereiding zijn voor de Nederlandse markt. Het is nu onduidelijk op welke punten en in welke maten deze geopolymeren van elkaar verschillen in verwerkbaarheid en eigenschappen van het beton dat op basis van deze geopolymeren geproduceerd wordt. Daarnaast worden er vraagtekens gezet bij de duurzaamheidsclaims van de geopolymeer producenten. Tot nu toe is er immers nog geen openbaar bewijs geleverd van de hoge CO₂-emissie-reductieclaim van het koude procedé voor de productie van geopolymeer. Om meer kennis te verwerven over het gedrag van beton op basis van diverse soorten geopolymeer wordt voorgesteld om een aantal proefprojecten uit te voeren en daarbij het gedrag van het beton te monitoren en met een levenscyclus analyse (LCA), de milieukostenindicator (MKI) in kaart te brengen op basis van praktijkgegevens.

Uiteindelijk doel van deze proefprojecten is om van ieder type geopolymeer te weten hoe goed de verwerkbaarheid is van het beton gemaakt op basis van het betreffende geopolymeer is en welke eigenschappen het beton vertoont en wat de bijbehorende MKI is.

Op deze manier kan de performance van beton op basis van geopolymeren vergeleken worden met gelijkwaardig beton met een cementsoort die bij een dergelijke betontoepassing gebruikelijk is, zowel in termen van technische duurzaamheid en andere technische performance aspecten als van de milieu-impact.

Op basis van deze informatie kan dan voor ieder type geopolymeer de optimale toepassing, prijsklasse en vermindering van de milieu-impact in vergelijking met bestaande betonsoorten bepaald worden.

Nationaal geopolymeer consortium oprichten

Er is en wordt in Europa veel kennis ontwikkeld op gebied van verschillende soorten geopolymeren, maar verschillende partijen in Nederland hebben moeite om van deze ontwikkelingen op de hoogte te blijven. Om optimaal gebruik van deze bestaande kennis te maken wordt voorgesteld om een nationaal geopolymeer consortium op te richten met als doel het verspreiden van bestaande kennis over geopolymeren.

Bij dit kennisplatform zouden alle partijen lid kunnen worden die meer willen weten over geopolymeren. Zodat kennis goedkoper en efficiënter bereikbaar wordt voor de Nederlandse marktpartijen. Aanvankelijk zullen de leden vooral experts van de bedrijven zijn die geopolymeer (gaan) produceren en/of verwerken lid zijn, maar uiteindelijk is het ook de bedoeling dat partijen verderop in de keten via dit platform voorgelicht worden over de (on)mogelijkheden van geopolymeren als bindmiddel in beton.



3.7 Conclusies

Het handelingsperspectief richt zich op de grootschalige productie en markt-introductie van innovatieve en CO₂-arme geopolymereen in Nederland ter vervanging van reguliere cementen op basis van Portlandcementklinker.

In Nederland zijn twee verschillende methodes voor de productie van innovatieve geopolymereen in voorbereiding: een onverwarmd 'koud' proces en een smeltproces.

Vanwege de duur van het benodigde traject om in ontbrekende normen te voorzien kunnen geopolymereen naar verwachting in de periode tot 2020 alleen toegepast worden bij niet-constructieve toepassingen. Voor gebruik in deze niet-constructieve toepassingen is wel nog veel kennisontwikkeling nodig over de eigenschappen van beton dat gemaakt is op basis van geopolymer.

Wat als veel ernstige belemmering ervaren wordt zijn de volgende twee aspecten:

1. Er is nog geen objectieve test om de levensduur van geopolymer beton te bepalen. Daarmee kan er geen objectief antwoord gegeven worden op de vraag hoelang het geopolymer blijft functioneren.
2. Op dit moment heeft CO₂-arm beton geen meerwaarde bij een aanbesteding, zelfs bij gelijke prijs heeft het vaak geen voorkeur. Er kan dus geen marktaandeel mee vergroot worden of nieuwe markten mee gecreëerd worden. Hierdoor ontbreken voldoende prikkels om de benodigde investeringen in de realisatie van de benodigde productie-capaciteit te doen.





4 CSA-B-cement

Dit hoofdstuk gaat in op handelingsperspectief 2: CSA-B-cement. Na een korte introductie (Paragraaf 4.1), komen de potentie voor het verminderen van de milieu-impact (Paragraaf 4.2), de benodigde kennisontwikkeling (Paragraaf 4.3), kansen en belemmeringen (Paragraaf 4.4) aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de business case (Paragraaf 4.5) en wordt een plan van aanpak opgesteld (Paragraaf 4.6). Tot slot worden de belangrijkste inzichten voor dit handelingsperspectief samengevat (Paragraaf 4.7).

4.1 Introductie

Dit handelingsperspectief richt zich op de grootschalige inzet van innovatief calcium sulfo-aluminaat beliet cement (ook wel CSA-B-cement genoemd) ter vervanging van reguliere cementen op basis van Portlandcementklinker. In dit type cement worden calcium sulfo-aluminaten (CSA) en beliet (=dicalcium silicate, C_2S) gecombineerd tot een nieuw product CSA-B-cement. CSA zijn bekend om hun hoge initiële sterkte, maar beperkte levensduur. Beliet daarentegen is bekend als de langzaam reagerende klinker fase in Portlandcement. De verwachting is dat CSA-B een snelle initiële sterkte combineert met een lange levensduur (HeidelbergCement, 2013). De productie van CSA-B-cement lijkt op de productie van Portlandcement. In beide gevallen wordt er eerst een klinker gevormd in een oven bij zeer hoge temperatuur en wordt daarna deze klinker gemalen tot cement. Toch is de verwachting dat CSA-B-cement een 25-30% lagere CO_2 -footprint heeft dan Portlandcement (CEM I), bij een vergelijkbare kwaliteit cement. Dit wordt in Paragraaf 4.2 toegelicht. Potentieel voor vermindering milieu-impact.

Bij de inschatting van het potentieel maken we onderscheid tussen twee aspecten; reductie van broeikasgas emissies en efficiënt grondstof gebruik (al dan niet circulair).

Broeikasgas emissies

Bij grootschalige industriële testen in bestaande cementfabrieken is de verwachte reductie in CO_2 -emissie met 25-30% experimenteel bewezen (Lafarge, 2011; Aether, 2014). Deze CO_2 -emissiereductie komt gedeeltelijk door de lagere elektriciteitsbehoefte bij het malen van de klinker en gedeeltelijk door de lagere temperatuur waarbij CSA-B-klinker geproduceerd wordt (1.225-1.300 °C bij CSA-B en 1.400-1.500 °C bij Portlandcementklinker). Bijkomend voordeel van deze lagere temperatuur, is dat er minder NO_x gevormd wordt. De SO_x -emissies zijn even hoog als bij de productie van Portlandcementklinker.

Als CSA-B-klinker ingezet kan worden als vervanger van Portlandcementklinker in hoogovencementen, dan is het mogelijk om ook in vergelijking met hoogoven-cementen lagere CO_2 -emissies te realiseren. Echter, of dit kan en hoeveel lager de emissies uitpakken is nu nog niet te zeggen, omdat gebruik van CSA-B-klinker als vervanger van Portlandcementklinker in hoogovencement zich nog in de conceptfase bevindt en dus nader onderzoek vergt.



Efficiënt en/of circulair grondstof gebruik

De productie van CSA-B-klinker lijkt minder gevoelig voor elementen als aluminium en zwavel dan bij de productie van Portlandcementklinker. De CSA-B-klinker kan meer aluminium en zwavel bevatten en daardoor zijn er minder beperkingen aan grondstoffen met veel aluminium en brandstoffen met veel zwavel. Dit biedt dus de mogelijkheid om grondstoffen te gebruiken, die nu niet of in veel kleinere hoeveelheden ingezet worden. Daarom onderzoekt HeidelbergCement momenteel de inzet van industriële reststromen (HeidelbergCement, 2013). Onderzoeksvragen hierbij zijn de soort en concentratie van eventueel storende elementen en de concentratie van de gewenste stoffen die in deze stromen aanwezig zijn en wat dat betekent voor de mogelijke verhoudingen waarin deze reststromen ingezet kunnen worden als grondstof binnen de kwaliteitseisen die aan het eindproduct gesteld worden.

De verwerking van deze reststromen heeft mogelijk de volgende voordelen:

- Reststromen die anders geen of een veel laagwaardige toepassing hadden kunnen nu ingezet worden als grondstof voor een hoogwaardig product (bijvoorbeeld bodemassen van afval energie centrales).
- Mogelijk is het aandeel carbonaat veel lager in deze stromen dan in kalksteen, de reguliere kalkbron bij de productie van cement. De inzet van een carbonaatvrije kalkbron zou de afscheiding van CO₂ in het proces kunnen verminderen en daarmee de CO₂-footprint van het CSA-B-cement verder verlagen. Om te kunnen bepalen hoeveel CO₂-afschrijving in het proces voorkomen kan worden is verder onderzoek nodig. Hierbij is samenwerking met toeleveranciers van deze materialen cruciaal. In Hoofdstuk 8 wordende (on)mogelijkheden van innovatieve beton-recyclingtechnologieën besproken.
- Vervoer van reststromen veroorzaakt extra CO₂-emissies. Hoe groot deze emissies zijn in vergelijking met het vervoer van primaire grondstoffen kan berekend worden door gebruik te maken van de ontwerptool 'Groen beton' ook wel bekend als 'de CUR-tool'⁴.

4.2 Stand van de techniek

Er zijn drie soorten ontwikkeling nodig:

1. Benodigde technische kennis om op specificatie te produceren.
2. Benodigde productkennis om veilig/duurzaam te kunnen bouwen met beton.
3. Manieren om de CO₂-footprint verder te verlagen.

Aan de eerste twee aspecten wordt gewerkt op industriële schaal, het derde aspect bevindt zich nog in de conceptfase.

Benodigde proceskennis

Er is al veel onderzoek naar procesparameters gedaan. Zo heeft Lafarge in 2011 al gerapporteerd over resultaten die gerealiseerd zijn binnen het Aether-project (onderdeel van het Europese onderzoeksprogramma Life+) drie maal testen op industriële schaal uitgevoerd: bij de ICiMB cementfabriek in Polen, bij de Lafarge fabriek in Bourgondië (Frankrijk) en de Le Teil fabriek in de Ardèche (Frankrijk) (Aether, 2014).

⁴ Met de ontwerptool 'Groen beton' kan het milieuprofiel van een betonnen bouwdeel worden berekend. De methode is gebaseerd op SBK Bepalingsmethode Milieuprestaties Gebouwen en GWW-werken. Het werk is begeleid door SBRCURnet werkgroep1759.



Bij de test in Polen in februari 2011 is 5.000 ton cement geproduceerd. Met deze test is de technische haalbaarheid van produceren op industriële schaal bewezen en is de verwachte reductie in CO₂-emissiereductie met 25-30% experimenteel bewezen (Aether, 2014). Deze resultaten werden bevestigd bij de testen in Frankrijk in februari 2011 en december 2012. Ook hier werden de CSA-B-klinkers geproduceerd bij een lagere temperatuur dan cement op basis van Portlandcementklinker (1.225-1.300°C in plaats van 1.400-1.500°C) in cementovens die gewoonlijk gebruikt worden voor de productie van Portlandcementklinker. Het voordeel van deze lagere temperatuur is dat er minder NO_x gevormd wordt. Deze voordelen werden bevestigd in een publicatie van HeidelbergCement over eigen onderzoek op pilotschaal (HeidelbergCement, 2013).

Uit de testen van Lafarge (Lafarge, 2011; Aether, 2014) bleek ook dat een zeer nauwe temperatuurrange geschikt is voor de klinker productie zone van de oven om te zorgen dat de klinker op specificatie geproduceerd kan worden. Als de temperatuur van de klinkerproductie goed gemonitord wordt, komen er evenveel SO_x-emissies vrij bij de productie van CSA-B als bij de productie van Portlandcement, terwijl de NO_x-emissies lager zijn. HeidelbergCement heeft ook testen op industriële schaal in een bestaande fabriek uitgevoerd in 2013 (HeidelbergCement, 2013), over de uitkomsten van deze testen is nog niet gepubliceerd.

Een volgende fase is dat potentiële klanten bij het onderzoek betrokken worden, zodat voor een langere tijd op industriële schaal geproduceerd kan worden en het product door de klanten in hun productieprocessen toegepast wordt. Voor het zover is zal eerst meer productkennis ontwikkeld moeten worden.

Benodigde ontwikkeling van normen

Voordat het cement toegelaten wordt op de markt moet aangetoond worden dat het geproduceerde beton een voldoende technische duurzaamheid heeft (dat wil zeggen voldoet aan minimum eisen op eigenschappen van levensduur en sterkte). In dit kader wordt er veel kennis verzameld over de manier waarop beton dat geproduceerd is met CSA-B-cement zich gedraagt onder allerlei belastingen.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in vier verschillende klassen, met toenemende eisen aan de levensduur (zie Paragraaf 3.1).

Manieren om de CO₂-footprint verder te verlagen

In theorie zijn er twee manieren om de CO₂-footprint van CSA-B-cement verder te verlagen:

1. Vervanging van Portlandcementklinker door CSA-B-klinker in hoogovencement.
2. Productie van CSA-B op basis van een carbonaatvrije bron in plaats van kalksteen (zoals bijvoorbeeld teruggewonnen cementsteen).

Echter zoals gezegd, beide aspecten bevinden zich nog in de conceptfase en zijn nog niet bewezen op industriële schaal.



Benodigde product kennis

Voor de positionering van CSA-B-cement moeten nog een aantal vragen beantwoord worden:

- Welke kwaliteiten brengt het CSA-B-cement nog meer mee behalve een lagere CO₂-footprint dan Portlandklinkercement en in hoeverre onderscheidt het zich daarmee van de bestaande hoogovencementen en de in ontwikkeling zijnde geopolymereen?
- Wat is de prijs/kwaliteit verhouding?
- Wat zijn de engineering eigenschappen van beton dat geproduceerd is op basis van CSA-B?
- Wat is de technische duurzaamheid van het CSA-B-cement?

4.3 Kansen en belemmeringen

We onderscheiden de volgende typen kansen en belemmeringen:

- de benodigde kennisontwikkeling;
- de enige cementfabriek in Nederland wordt in 2018 gesloten;
- de vraag naar CO₂-arm beton van hoge kwaliteit ontbreekt;
- beschikbaarheid van andere CO₂-arme cementen.

Benodigde Kennisontwikkeling

Belemmering

De kennisontwikkeling vormt nu een uitdaging. De uitdagingen op het gebied van kennisontwikkeling zijn in Paragraaf 4.3. reeds beschreven. Op dit moment ligt de regie voor deze kennisontwikkeling bij de cementfabrikanten Lafarge en HeidelbergCement. Het is onduidelijk hoever dit onderzoek precies is en wat er nodig is om het onderzoek naar de volgende fase te brengen. Tot nu toe zijn potentiële samenwerkingspartners die nodig zijn voor deze volgende fase nog niet bij dit onderzoek betrokken.

Kans

Zodra de benodigde kennis ontwikkeld is kan die kennis internationaal ingezet worden om een nieuwe markt te ontwikkelen. Daarmee kan de marktpositie van de betrokken partijen versterkt worden

De enige cementoven in Nederland wordt in 2018 gesloten

Belemmering

De productie van CSA-B-cement vergt de inzet van zeer gespecialiseerde apparatuur. Deze apparatuur zoals een oven die voldoende capaciteit heeft en tegen zeer hoge temperaturen bestand is en maalapparatuur om de klinkers tot cement te malen zijn beschikbaar in een conventionele cementfabriek. De meest logische plaats om CSA-B-cement te gaan produceren is daarom in een bestaande cement fabriek.

Een belangrijke belemmering voor dit scenario is dat de mergelwinning in 2018 stopt in Maastricht en dat in dit kader is afgesproken dat de cementoven uiterlijk in 2019 dooft. Dit betekent dat gebruik van CSA-B-cement alleen mogelijk is als CSA-B-klinker geïmporteerd kan worden uit de ons omringende landen. Aangezien zowel HeidelbergCement en Lafarge werken aan de ontwikkeling van CSA-B-cement is het in principe mogelijk dat in Duitsland of België een productielocatie van CSA-B-klinker gerealiseerd wordt waarvandaan CSA-B-klinker geëxporteerd wordt naar Nederland en dat de klinker daarna in Nederland gemalen wordt tot CSA-B-cement.

Het is onduidelijk of en wanneer de productie gestart wordt en welke productieplant hiervoor uitgekozen wordt. Dit laatste bepaalt in hoge mate de beschikbaarheid van CSA-B-cement voor de Nederlandse markt.

Kans

Vanuit het oogpunt van technische ontwikkeling zou het in bedrijf houden van de oven in Maastricht voor de productie van innovatieve emissiearme cementen, die zonder gebruik van mergel geproduceerd kunnen worden een enorme kans zijn. Dit zou HeidelbergCement meer ruimte geven voor het doen



van testen op industriële schaal en het zou Nederland in het brandpunt van de internationale kennisontwikkeling van CO₂-arme cementen plaatsen en Maastricht versterken in haar aspiraties om kennisstad te zijn in 2030. Dit scenario wordt verder versterkt door het feit dat vanuit Maastricht samenwerking met de universiteiten van Maastricht, Aken, Eindhoven en Luik voor de hand ligt. Deze internationale samenwerking maakt het ook mogelijk dat dit onderzoek in aanmerking zou kunnen komen voor financiële ondersteuning via Europese onderzoeksgelden zoals Horizon 2020.

De vraag naar CO₂-arm beton van hoge kwaliteit ontbreekt

Belemmering

De verwachting is dat CSA-B-cement dezelfde kwaliteit kan bieden als Portlandcement, maar dan bij een 25-30% lagere CO₂-footprint dan Portlandcement. Op dit moment heeft dit voordeel geen meerwaarde, bij gelijke prijs heeft CSA-cement als innovatief en CO₂-arm cement geen voorkeur⁵. Dit betekent dat de benodigde investeringen niet of moeilijk terugverdiend worden. Daarom is het waarschijnlijk dat de benodigde investeringen voor het ontwikkelingstraject van CSA-B-cement pas versneld worden als de CO₂-footprint een factor is die een significante invloed heeft op marktaandeel.

Kans

Pas als er verandering in deze situatie komt, is er kans dat het kennisontwikkelingstraject versnelt en er binnen een paar jaar een fabriek in de buurt van Nederland de productie van CSA-B-klinker start.

Beschikbaarheid van andere CO₂-arme cementen/betonsoorten

Belemmering

CSA-B is niet de enige manier om CO₂-arm cement te produceren. In Nederland is het gebruik van hoogovencementen wijd verbreid. De verwachting is dat afhankelijk van de toepassing deze cementen een 35-90% lagere CO₂-footprint dan Portlandcement hebben.

In de categorie ongewapend beton in niet constructieve toepassingen (de categorie waarvan de markt waarschijnlijk het eerst toegankelijk is voor CSA-B-cement) zijn de hoogovencementen van het type CEM III/A en CEM III/B wijd verbreid. Deze cementen hebben een 35-80% lagere CO₂-emissie dan Portlandcement, doordat het aandeel klinker varieert tussen de 20-65. Daarnaast zijn er verschillende CO₂-arme betonsoorten in ontwikkeling waaronder verschillende typen geopolymeer, die een 55-80% lagere CO₂-footprint dan Portlandcement hebben.

4.4 Business case

Op basis van de beschikbare technische informatie is het volgende over de kostenkant te zeggen. Bij omschakeling van de productie in een bestaande fabriek voor Portlandcement zijn de benodigde investeringen beperkt. Uit rapporten over industriële testen, die uitgevoerd zijn door Lafarge blijkt dat de productie plaats kan vinden in de bestaande fabrieken voor Portlandcement (Lafarge, 2011) zonder significante ombouw van de bestaande installaties. Wel moet er geïnvesteerd worden in kennisontwikkeling (zie Paragraaf 4.3). Wat betreft de proceskosten blijkt dat:

- Het productieproces 10% minder brandstof verbruikt door de 150-200°C lagere temperatuur van de oven (HeidelbergCement, 2013).
- De elektriciteitskosten 15% lager liggen onder andere doordat er minder elektriciteit nodig is voor het malen van de klinker tot cement dan bij de productie van Portland (HeidelbergCement, 2013).

⁵ Dit is een waarneming door met name de aannemers die unaniem aangeven dat bij het verwerven van opdrachten het voordeel dat behaald kan worden door CO₂-arm aanbieden alleen bij hoge uitzondering onderscheidend is.



- De impact op de kosten voor grondstoffen is nog onbekend. Dit komt omdat de verhoudingen waarin grondstoffen nodig zijn nog niet gepubliceerd zijn. Mogelijk is er minder kalksteen nodig terwijl kalksteen juist een lage prijs heeft omdat de meeste fabrieken naast een groeve staan betalen ze alleen de kostprijs van het afgraven. Als er minder kalksteen nodig is betekent dit dat er meer grondstoffen vanaf andere locaties aangevoerd moet worden. Dit brengt mogelijk extra vervoerskosten met zich mee. Anderzijds onderzoekt HeidelbergCement de inzetbaarheid van industriële reststromen, die tot nu toe niet of slechts zeer beperkt ingezet konden worden bij de productie van cement. Mogelijk worden deze reststromen kosteloos of tegen beperkte kosten beschikbaar gesteld aan de fabriek.

Kortom, de energiekosten van CSA-B-cement zijn lager dan bij de productie van Portlandcement, of en op welke manier de grondstofkosten veranderen is onbekend en daarnaast zijn er investeringen nodig in onderzoek en ontwikkeling om deze productie mogelijk te maken.

Het enige dat bekend is over de inschatting van de baten, is dat de huidige markt weinig ruimte laat voor hogere prijzen dan Portlandcement. Ook niet als CO₂-footprint 25-30% lager en de kwaliteit hetzelfde is.

Niettemin werken zowel Lafarge als HeidelbergCement aan deze ontwikkeling, dit kan verschillende dingen betekenen:

1. De verwachting is dat de grondstofkosten en de benodigde investeringen voor onderzoek en ontwikkeling beperkt blijven zodat voldoende baten uit de productie van CSA-B-cement tegen de huidige marktprijs voor cement te realiseren zijn.
2. De verwachting is dat de kosten voor CO₂-emissie op termijn dusdanig stijgen dat de business case voor CSA-B-cement beter wordt dan de business case voor Portlandcement.
3. De ontwikkeling is niet gericht op de West-Europese landen maar op landen waar een schaarste is aan primaire grondstofstromen, waardoor een beperkte meerprijs acceptabel is.

Echter, er worden geen uitspraken gedaan over welke van deze scenario's ten grondslag ligt aan de ontwikkeling van CSA-B-cement of welke prijs voor CO₂-emissies nodig zou zijn voor een break even in de productiekosten van Portlandcement en CSA-B-cement.

4.5 Plan van aanpak

Het plan van aanpak bestaat uit een drie sporen beleid dat grotendeels parallel uitgevoerd kan worden. We onderscheiden hierbij drie aspecten:

1. Versterken duurzaam inkoopbeleid door de overheid.
2. Kennisontwikkeling.
3. Ontwikkelen benodigde normen.

Versterken duurzaam inkoopbeleid door de overheid

CSA-B-cement is een cement met een lagere CO₂-footprint dan Portlandklinkercement. In het kader van duurzaam inkopen kunnen overheidsorganisaties geen CSA-B voorschrijven, maar ze mogen wel onderscheid maken tussen cementen op basis van hun CO₂-footprint.

Dit gebeurt nu nog niet of als het gebeurt, is het te weinig onderscheidend voor het verwerven van opdrachten.

Aangezien overheidsorganisaties zoals Rijkswaterstaat, provincies en gemeentes en organisaties zoals woningbouwcorporaties, ProRail en waterschappen gezamenlijk een groot deel van de vraag naar cement en beton vertegenwoordigen zou versterken van hun duurzaam inkoopbeleid een



mogelijkheid kunnen bieden om de vraag naar innovatief CO₂-arm beton te verhogen. In dit kader worden drie concrete verbeteringen genoemd:

- Het effect van de inzet van beton op basis van CSA-cement op de CO₂-footprint van een project moet juist en eenduidig berekend kunnen worden. Hiervoor is opname van CSA-B-cement in de SBK GWW-database⁶ nodig.
- Het is van belang dat dit beleid consequent en voor de lange termijn bij de meeste projecten toegepast wordt en voldoende prikkels omvat (koppeling met de ENVI-criteria) om perspectief te bieden aan het opzetten van een productiefaciliteit voor CSA-B-cement.
- Verder is er meer ruimte nodig voor innovaties in projecten, de overheid als first mover.

Kennisontwikkeling

Zoals in de voorgaande paragrafen genoemd is er nog kennisontwikkeling nodig zowel op het gebied van procesoptimalisatie als op het gebied beton-eigenschappen. Hierbij worden de volgende aspecten genoemd:

- Beschikbaarheid en geschiktheid van (circulaire) grondstoffen onderzoeken door het uitvoeren van simulaties.
- Mogelijkheden voor combinatie met hoogovenslak onderzoeken.
- Nader onderzoek (met name m.b.t. aanvangs- en eindsterkte-ontwikkeling, krimp/kruipfactoren, vorstdooibestandheid (ook in aanwezigheid van doozouten), verwerkbaarheid, relatie hulpstoffen, wapeningscorrosie-remmend vermogen, sulfaatbestandheid, emissies in geval van zowel niet-constructief als constructief beton).
- Product(eigenschappen) aanpassen/verder ontwikkelen.
- Opzetten van demonstratieprojecten met ketenpartners waarbij aan verschillende soorten toepassingen gedacht kan worden, zie Tabel 1.

Tabel 1 Verschillende markt productcombinaties voor pilot projecten

Mogelijke toepassingen	Niet-constructief	Constructief
Prefab	Verhardings-elementen, straatmeubilair	Liggers, vloeren, palen, wanden
In situ	Werkvloeren, fietspaden	Wanden, vloeren, bruggen, viaducten, tunnels, wegen

- Bereidheid tot uitvoering demoprojecten in keten(s) vanuit verschillende ketenpartners: leveranciers, betonmortelproducenten, aannemers, opdrachtgevers.
- Kennisdeling zal op hoofdlijnen worden uitgewisseld binnen het MVO Nederland Beton-platform en de structuur die wordt opgezet om Concreet 2.0 te begeleiden. Voor specifieke proeven zullen de direct betrokken partijen (die middelen inbrengen en kansen/risico's aangaan) nadere overeenkomsten aangaan (bijv. non-disclosure, licenties). Deelname aan het netwerk betekent niet dat alle verworven kennis om niet wordt verspreid.

⁶ Zodra nieuwe data zijn goedgekeurd en opgenomen in de SBK GWW-database worden de data opgenomen in de DuboCalc-bibliotheek. Via deze bibliotheek zijn de gegevens dan beschikbaar voor DuboCalc Project.



Ontwikkeling benodigde normen

De benodigde normprocedures om aan te tonen dat CSA-B-cement toegelaten kan worden op de markt moeten worden doorlopen. Dit proces is al in gang gezet (met betrokkenheid van de Europese cementproducenten verenigd in CEMBUREAU en in de CEN-werkgroep TC51). Onder deze TC51, de CEN-Werkgroep verantwoordelijk voor de Europese cement en bouwkalk normen, wordt gewerkt aan een richtlijn die de certificering van nieuwe binder-systemen zoals CSA-B mogelijk moet maken. Hierbij dient te worden aangemerkt dat dergelijke processen een lange tijd vragen omdat alle CEN-partners hun eigen belangen zo goed mogelijk terug willen vinden in de normen.

Er is de mogelijkheid om dit proces te versnellen door het volgen van een specifieke procedure waarmee middels het opstellen van een CUAP⁷ een European Technical Approval op het product verkregen kan worden waarmee het al in 2020 mogelijk zou kunnen zijn om CSA-B voor toepassingen aan te bieden. De beslissing om deze route te volgen wordt op corporate niveau genomen, daarnaast zal er op Europees niveau afstemming plaats moeten vinden er zal in ieder geval een Technische Beoordelingsinstantie voor worden aangewezen.

Indien dit traject alleen tot NL beperkt blijft (KOMO/CUR) dan zullen ook (deels dezelfde) belanghebbende partijen er achter moeten staan c.q. middelen ter beschikking moeten stellen en zal de NL-overheid betrokken zijn (via o.a. Bouwbesluit/regelgeving en als opdrachtgever).

4.6 Conclusies

Het handelingsperspectief richt zich op de grootschalige inzet van innovatieve calcium sulfo-aluminaatcementen (ook wel CSA-B-cementen genoemd) ter vervanging van reguliere cementen op basis van Portlandcementklinker.

Zowel HeidelbergCement als Lafarge rapporteren over de ontwikkeling van deze innovatieve cementsoorten. Volgens praktijkproeven, die Lafarge heeft uitgevoerd kan CSA-B-cement geproduceerd worden in reguliere Portlandcementfabrieken, met vergelijkbare grondstoffen als voor Portlandcement en levert het een vergelijkbare kwaliteit cement als Portlandcement (CEM I), maar bij 25-30% lagere CO₂-emissies (HeidelbergCement, 2013; Lafarge, 2011).

Om grootschalige toepassing van CSA-B mogelijk te maken zijn een aantal ontwikkelingen nodig:

- Duurzaam inkopen moet dusdanig versterkt worden dat er vraag ontstaat naar CO₂-arm en innovatief beton, nu en in de toekomst.
- Er is nog veel kennisontwikkeling nodig, zowel over procesoptimalisatie als over effect van CSA-B op de levensduur en sterkte-eigenschappen van beton. Hiervoor is verder gaande samenwerking met ketenpartners nodig.
- De benodigde normen om toegelaten te kunnen worden op de markt moeten ontwikkeld worden.

⁷ Common Understanding of Assessment Procedure. De CPR (waar cement/beton onder vallen) geeft hier ook richtlijnen voor. O.a. Europese beoordelingsdocumenten/European Assessment Documents.



5 Korrelpakking optimalisatie

Dit hoofdstuk gaat in op handelingsperspectief 3: Korrelpakking optimalisatie. Na een korte introductie (Paragraaf 5.1), komen de potentie voor het verminderen van de milieu-impact (Paragraaf 5.2), de benodigde kennisontwikkeling (Paragraaf 5.3), kansen en belemmeringen (Paragraaf 5.4) aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de business case (Paragraaf 5.5) en wordt een plan van aanpak opgesteld (Paragraaf 5.6). Tot slot worden de belangrijkste inzichten voor dit handelingsperspectief samengevat (Paragraaf 5.7).

5.1 Introductie

Korrelpakking is de mate waarin de korrelvormige grondstoffen van beton in elkaar passen. Dit geldt voor de hele range van de millimeterschaal van zand en grind tot de nanometerschaal van cement en andere bindmiddelen. Hoe beter de korrels in elkaar passen, dus hoe beter de ‘pakking’, des te minder holle ruimtes over blijven die opgevuld moeten worden met cementlijm. Een betere korrelpakking leidt naast een reductie op bindmiddel gehalte ook tot een betere milieuprestatie en met behoud van of betere technische eigenschappen zoals verhoogde sterkte, verhoogde chemisch/fysische resistentie en verbeterde verwerkingseigenschappen.

Daar waar we spreken van een geoptimaliseerde korrelpakking, wordt de korrelpakking van de beschikbare grondstoffen afgestemd op de prestatie van het beton. Het optimum ligt niet per definitie in een maximale korrelpakking, maar in de best mogelijke pakking in relatie tot de overige technische eigenschappen. Andere belangrijke parameters die ook meegenomen moeten worden in de optimalisatie zijn:

- sterkte;
- technische duurzaamheid (chemisch/fysische resistentie);
- kosten;
- esthetiek;
- verwerkbaarheid.

Er zijn verschillende niveaus van doorvoeren:

1. Optimalisatie van de verhouding van de beschikbare grondstoffen bij een leverancier.
2. Gericht inkopen van beschikbare reguliere grondstoffen, maar bijvoorbeeld uit een andere groeve zodat er een andere korrelverdeling bij hoort.
3. Op voorraad houden van verschillende graderingen zand en grind op basis van korrelverdeling (strenger gedefinieerd dan toegestaan binnen de huidige normen).

In de huidige situatie kunnen Stap 1 en 2 toegepast worden zonder dat daarvoor structurele veranderingen nodig zijn. Het vergt wel optimaal gebruik van de kennis, die bij experts binnen de keten beschikbaar is.



5.2 Potentie voor vermindering milieu-impact

Er worden verschillende voordelen van de optimalisatie van de korrelpakking onderkend die de milieu-impact van het beton verminderen:

1. Vermindering bindmiddel gebruik.
2. Verbeterde verwerkbaarheid en technische duurzaamheid van het beton.
3. Optimaal gebruik van grondstofstromen (inclusief recycling).

Hierdoor kan korreloptimalisatie ook voordelen blijven bieden als de CO₂-reductie door inzet van CO₂-armere bindmiddelen reeds verminderd is. In de onderstaande paragrafen lichten we deze voordelen toe.

Vermindering bindmiddel gebruik

Met een optimale korrelpakking van toeslagmaterialen, cement en vulstoffen, over de hele range van zeer grof tot zeer fijn is het mogelijk om aanzienlijke besparingen op het gebruik van bindmiddelen (ongeacht het soort bindmiddel) te realiseren. Eerste proeven op beperkte schaal met de gebruikelijke grondstoffen laten een besparing van 10% op het bindmiddel zien. De inschatting dat deze optimalisatie toepasbaar is in combinatie met 75% à 85% van de bestaande cementsoorten (CE Delft, 2013b).

Aangezien de gemiddelde CO₂-emissie van Nederlandse cementen 0,5 ton CO₂ per ton cement bedraagt en de cementconsumptie circa 4,8 miljoen ton per jaar (referentiejaar 2010). Komt dit neer op een emissiereductiepotentieel van 180-204 kton CO₂-emissiereductie per jaar.

Als korrelpakkingsoptimalisatie toegepast wordt bij CO₂-armere bindmiddelen (zoals CEM III/B- of CEM III/C-cement en in de toekomst eventueel geopolymeren en CSA-B), dan blijft dit potentieel 10% reductie van de bindmiddel, maar is de daaruit voortkomende verlaging van de CO₂-footprint in absolute zin lager omdat de CO₂-footprint van deze bindmiddelen al lager is.

Verbeterde verwerkbaarheid en technische duurzaamheid

Zoals genoemd in Paragraaf 5.1 wordt bij korrelpakking optimalisatie niet alleen de hoeveelheid bindmiddel geoptimaliseerd maar integraal geoptimaliseerd voor verwerkbaarheid en technische duurzaamheid van de geleverde samenstelling van het beton.

Door optimalisatie van de korrelpakking op verwerkbaarheid is de kans op problemen met de verwerkbaarheid van het beton op de bouwplaats kleiner. Dit heeft een milieuvoordeel omdat bij grotere vertragingen het kan gebeuren dat beton zo lang niet gebruikt kan worden dat als de vertraging verholpen is het beton niet meer geschikt is voor gebruik en als afval afgevoerd moet worden.

Door optimalisatie van de technische duurzaamheid is het beton minder gevoelig voor indringing van corrosieve verbindingen. Hierdoor zijn er minder inspecties en minder onderhoud aan het beton nodig over de levensduur van het beton. Over het algemeen is het aantal kilometer dat gereisd moet worden voor onderhoud en inspecties beperkt, maar als dit voorkomt dat wegen afgezet hoeven te worden om het onderhoud uit te voeren, kan dit effect significant worden.

Optimaal gebruik van grondstofstromen

Daarnaast maakt optimalisatie van de korrelpakking een flexibeler en beter gebruik van grondstoffen mogelijk. Zo kunnen de materiaalstromen die vrijkomen bij betonrecycling optimaal ingezet worden door het toepassen van inzichten uit de korrelpakkingsoptimalisatie.



5.3 Stand van de techniek

Alle benodigde kennis is beschikbaar. Toch zijn er een aantal ontwikkelingen gewenst om dit handelingsperspectief op de kaart te zetten:

1. Kennisspreiding.
2. Kennisontwikkeling over zeeftechnologie en grondstofstromen uit recycling.
3. Meer inzicht in de bijdrage die korrelpakking optimalisatie kan leveren aan circulair betongebruik.

In de volgende paragrafen lichten we deze ontwikkelingen toe.

Kennisspreiding

Op dit moment zijn er een aantal praktische modellen voor de Nederlandse markt beschikbaar om deze kennis in de praktijk toe te kunnen passen. Welk model het meest geschikt is hangt sterk af van de toepassing, het kennisniveau van de gebruikers, de grondstofsamenstellingen die op de markt worden aangeboden. De kennis over hoe je één of meerdere van deze modellen zou moeten gebruiken is sterk versnipperd. Volgens inschatting van de geraadpleegde experts wordt deze kennis momenteel het meest toegepast voor leveranties aan producenten van betonproducten. Zij schatten in dat circa 30% van de betonproducenten deze kennis paraat heeft, terwijl de bekendheid vele malen lager ligt bij kleine en middelgrote aannemers.

Spreiding van kennis over korrelpakkingoptimalisatie onder de betonproducenten is voorwaarde om korreloptimalisatie toe te kunnen passen op de productie van beton.

Daarnaast is het van belang dat deze kennis beschikbaar is bij uitvoerende bouwbedrijven omdat zij potentieel het grootste voordeel hebben van een verbeterde verwerkbaarheid van het beton. Zolang zij niet herkennen wanneer de korrelpakking van hun beton geoptimaliseerd is en welke voordelen dat biedt, zullen ze er ook niet naar vragen en ook niet voor de extra inspanningen van betonproducenten willen betalen.

Kennisontwikkeling

Zoals hierboven aangegeven is in principe alle benodigde kennis over korrelpakkingoptimalisatie zelf beschikbaar. Waar wel nog meer kennis nodig is, is over de technologie om korrelverdelingen beschikbaar te maken zowel in relatie tot primaire en recycle stromen. Het gaat hierbij specifiek om de beschikbare zeeftechnologie in relatie tot de toepassing voor korrelpakkingoptimalisatie, met name om de volgende aspecten:

- kosten;
- aard en omvang van reststromen;
- afzet mogelijkheden voor reststromen.

Daarnaast is behoefte aan meer inzicht over de fysische en chemische eigenschappen van fracties die teruggewonnen worden uit gebruikt beton om korrelpakkingoptimalisatie toe te kunnen passen voor het optimaal gebruik van de grondstofstromen die op deze manier vrijkomen.

In het kader van de circulaire economie kan men nog een stap verder gaan door de optimale samenstellingen te ontwikkelen die de herbruikbaarheid van het beton als grondstof voor nieuw beton vergroten.



5.4 Kansen en belemmeringen

We onderscheiden de volgende kansen en belemmeringen

1. De vraag naar CO₂-arm beton vanuit de markt.
2. Inkoop van beton.
3. Minimale normen voor cement gebruik.
4. Transparante ketensamenwerking.

De vraag naar CO₂-arm beton vanuit de markt

Belemmering

Op dit moment is er een zeer beperkte vraag vanuit de markt naar CO₂-arm beton; het is geen aspect waarmee een aanbesteding gewonnen kan worden.

Kans

Zodra er een vraag naar CO₂-arm beton ontstaat, biedt korrelpakking-optimalisatie een veilige en bewezen methode om het beton CO₂-armer te maken. Het zou kunnen helpen als korrelpakkingoptimalisatie aangeduid werd als een zogenoemde ‘laaghangend fruit’ maatregel om de CO₂-footprint van beton te verlagen.

Inkoop van beton

Belemmering

Op dit moment wordt door de meeste uitvoerend bouwbedrijven beton ingekocht op prijs. Volgens de geraadpleegde experts wegen kwaliteitsaspecten zoals korrelpakkingoptimalisatie daarbij niet zwaar mee of worden ze nauwelijks gecontroleerd bij oplevering.

Korrelpakkingoptimalisatie vergt een extra inspanning van betonproducenten zeker als daarvoor specifieke graderingen aan zand en grind fracties nodig zijn. Specifieke graderingen vergen meer voorraadsilo's, dit kan bij kleinere betoncentrales of betoncentrales in de buurt van binnensteden een beperking zijn. Daarnaast zijn de meeste automatische doseringssystemen in staat om met maximaal vier verschillende typen grondstof om te gaan, om meer graderingen automatisch te kunnen doseren zijn aanpassingen aan deze systemen nodig. Dit kost geld en grijpt in op het hart van de bedrijfsvoering. Betonproducenten zullen dat alleen doen als daar een verbetering van hun marktpositie tegenover staat.

Kans

Zodra alle partijen in de keten doordrongen zijn van de voordelen die korrelpakkingoptimalisatie biedt in termen van verwerkbaarheid en technische levensduur van het beton, biedt dit betonproducenten de gelegenheid om de meerwaarde van hun product aan te geven en dus deze investeringen te doen. Daar komt dan nog de mogelijkheid om bindmiddel uit te sparen bij.

Minimale normen voor cement gebruik

Belemmering

Volgens de geraadpleegde experts zijn de normen voor cementverbruik in de woningbouw dusdanig hoog dat korrelpakkingoptimalisatie van het beton soms gehinderd wordt door de minimumeisen voor cement in het beton.

De rechtvaardiging van deze cementgehalten is over het algemeen niet de benodigde sterkte maar bescherming van de stalenwapening van het beton.

De vraag is in hoeverre dit ook op andere manieren opgelost kan worden.

Kans

In het geval van infrastructurele projecten is de voorgeschreven hoeveelheid in verhouding tot de benodigde sterkte dusdanig laag dat korrelpakking-optimalisatie over het algemeen niet beperkt wordt door normen in infrastructurele projecten.

Transparante ketensamenwerking

Belemmering

Op de korte termijn heeft ieder bedrijf in de keten baat bij het geheim houden van de eigen kennis en is transparante samenwerking dus ongewenst. Een voorbeeld, korrelpakkingoptimalisatie wordt niet standaard aangeboden omdat het voor de grondstofleverancier goedkoper is om meer zand dan grind aan te leveren. Omdat de aannemer alleen maar kijkt naar prijs van het beton



wordt niet verteld dat het beton waar meer zand in zit dan grind minder goed presteert. Voor aanbieders van beton is het moeilijk om deze situatie te doorbreken omdat er alleen gevraagd wordt om voor de laagste prijs volgens een bepaalde norm te leveren. Voor afnemers van beton is het moeilijk om deze situatie te doorbreken omdat er niet het vertrouwen is dat als ze hun toeleveranciers meer ruimte bieden om mee te denken er dan ook daadwerkelijk meerwaarde geleverd wordt.

Kans Vergroten van de transparantie over de knelpunten in en project en het betrekken in een vroeg stadium van toeleveranciers over hoe zij kunnen helpen om die knelpunten op te heffen, leidt tot meer kennisdeling en kennisdeling is een basis voorwaarde om tot kennisvermeerdering (innovatie) en betere oplossingen (kwaliteit) te komen.

5.5 Business case

Zoals in de inleiding aangegeven zijn er verschillende niveaus waarop korrelepakkingoptimalisatie doorgevoerd kan worden. Bij de eerste twee niveaus wordt alleen slim gebruik gemaakt van het bestaande aanbod. Hier zijn dus geen investeringen in materiaal of apparatuur voor nodig. Wat wel nodig is, is opleiding van het personeel dat de optimalisatie van korrelepakking toepast in de mengsels (betonproducenten) en het personeel dat beton inkoopt en bij levering controleert (uitvoerende bouwbedrijven). Daar staat de uitsparing van de kosten van circa 10% bindmiddel, verlaging van het hulpstofaandeel en verbeterde verwerkingseigenschappen (zoals verbeterde verpompbaarheid, verbeterde stabiliteit en gereduceerde bleeding) tegenover. De verwachting van experts is dat alleen al door de lagere afkeur de business case voor korrelepakkingoptimalisatie binnen de context van de huidige manier van grondstofleveringen positief is.

Daarnaast is er nog de situatie waarin overgegaan wordt op het op voorraadhouden van meerdere graderingen van grondstoffen. Hiervoor is niet alleen opleiding van het personeel nodig, maar ook een groter aantal silo's en aanpassing van de software van de doseringssystemen. Daar staat verdere uitsparing van de kosten van bindmiddel, verlaging van het hulpstofaandeel en verbeterde verwerkingseigenschappen (zoals verbeterde verpompbaarheid, verbeterde stabiliteit en gereduceerde bleeding) tegenover. Of en in welke mate deze business case positief is voor een betoncentrale hangt sterk af van de locatie en de organisatie van de betreffende betoncentrale en de organisatie van het bouwbedrijf dat het geoptimaliseerde beton afneemt.

- De locatie omdat die bepaald welke kosten gemoeid zijn met het vergroten van het aantal opslagsilo's.
- De organisatie van de betonproducten omdat die bepaald in hoeverre de geoptimaliseerde eigenschappen van het beton omgezet kan worden in een betere prijs of een betere marktpositie en of de organisatie flexibel genoeg is om de benodigde verandering in werkwijze eigen te maken.
- De organisatie van het betreffende bouwbedrijf, omdat zij in staat moeten zijn om de korrelepakkingoptimalisatie te controleren bij oplevering, dan wel onderscheid te kunnen maken in verwerkbaarheidsproblemen die door een slechte korrelepakkingoptimalisatie komen en problemen met de verwerkbaarheid van het beton door andere oorzaken.



De praktijk wijst uit dat deze business case ook positief kan zijn voor bedrijven die zand en grind winnen. Er is al jaren een bedrijf⁸ actief dat nauwkeurig gedefinieerde fracties aanbiedt. Omdat de vraag nu nog zo beperkt is, wordt hij nu nog gezien als een niche speler. Zijn praktijk toont aan dat (tijdelijke) lagere vraag een bepaalde fractie geen probleem hoeft te zijn, de 'ongewenste fractie' gaat weer overboord of wordt verwerkt in een laagwaardig product en de gewenste fractie krijgt een wat hogere prijs.

5.6 Plan van aanpak

Zoals aangegeven is de grootste belemmering de beperkte kennis over de voordelen van korrelepakkingoptimalisatie en onbekendheid met de praktisch toepasbare modellen die er beschikbaar zijn om korrelepakking optimalisatie te realiseren. Daarnaast zijn er een aantal ondersteunende maatregelen nodig om korrelepakkingoptimalisatie breder toegepast te krijgen. Verder is nader onderzoek in een aantal aanpalende gebieden gewenst zoals beschreven in Paragraaf 5.3.

Kennisverspreiding

Bekendheid geven aan het potentieel dat korrelepakking optimalisatie biedt in termen van verbeterde verwerkbaarheid en technische duurzaamheid (levensduur, bestendigheid tegen corrosieve stoffen) is een taak die het Cement en Betoncentrum op zich zou kunnen nemen.

De branche verenigingen VOBN en BFBN kunnen hun leden de benodigde instrumenten in de vorm van rekenmodellen aanbieden.

De daadwerkelijke opleiding en bijscholing is een taak voor de betonvereniging met steun van de beton brancheverenigingen en Bouwend Nederland.

Om deze kennisverspreiding te ondersteunen is behoefte aan een paar aansprekende pilotprojecten die de toegevoegde waarde van korrelepakking-optimalisatie aantoont. Tot nu toe werd korrelepakkingoptimalisatie alleen toegepast in pilot projecten om daarmee te laten zien dat een bepaald soort grondstof zonder problemen toegepast kon worden, zonder dat de voordelen van korrelepakkingoptimalisatie zelf getoond werden. In deze projecten kan naast elkaar beton dat nog net binnen de normen valt en beton met verschillende mate van korrelepakking optimalisatie toegepast worden zodat het verschil in verwerkbaarheid en eigenschappen van het eindproduct goed vergeleken kunnen worden.

Verder zouden grote opdrachtgevers korrelepakkingoptimalisatie kunnen erkennen als een laag hangend fruit maatregel om CO₂-armer beton te produceren.

Ondersteunende normen/certificering

In het voorgaande is vastgesteld dat de bestaande minimumnormen voor cementgehalten in de woningbouw en in een enkele infrastructurele toepassing van beton onnodig hoog zijn als de korrelepakking van het beton geoptimaliseerd is. Als een mogelijke oplossing wordt de ontwikkeling van een speciale richtlijn genoemd die onder voorwaarden toestaat om de minimum cementgehalten verder te verlagen bij toepassing korrelepakkingoptimalisatie.

⁸ Smals Grondstoffen B.V.



Voor de situaties waar de norm niet beperkend is in de optimalisatie van de korrelpakking is de verwachting van de experts dat de ruime normen voor graderingen van zand en grind op termijn gecorrigeerd zullen worden door marktwerking in de zin dat een betere gradering een manier wordt voor grondstofleveranciers om hun beton onderscheidend te laten zijn. Om deze marktwerking te vergemakkelijken is voorgesteld om te werken met zogenoemde ketenbewijzen, dat wil zeggen kwaliteitsverklaringen die laten zien dat de samenstelling van een beton volgens een bepaalde korrelpakking-optimalisatie is samengesteld. Om op de langere termijn hergebruik te vergemakkelijken wordt in dit kader ook gepleit voor een grondstoffenpaspoort, hier gaan we verder op in bij het hoofdstuk over circulaire economie.

5.7 Conclusies

Het handelingsperspectief omvat het zo breed mogelijk toegepast krijgen van korrelpakkingsoptimalisatie als manier om beton te produceren. Hierbij wordt niet alleen uitgegaan van de chemische interactie tussen de samenstellende delen van beton, maar ook van de fysische interactie tussen deze samenstellende delen. Op deze manier kan een groot aantal aspecten van beton integraal geoptimaliseerd worden, waarvan vermindering van het aandeel Portlandcementklinker er één is.

Door optimalisatie gericht op vermindering van het aandeel Portlandcementklinker wordt het beton CO₂-armer, zonder dat eigenschappen daaronder hoeven te leiden. De besparingen die mogelijk zijn, zijn sterk afhankelijk van de mate waarin de korrelpakkingsoptimalisatie doorgevoerd kan worden.

Er zijn verschillende niveaus van doorvoeren:

1. Optimalisatie van de verhouding van de beschikbare grondstoffen bij een leverancier.
2. Gericht inkopen van beschikbare reguliere grondstoffen, maar bijvoorbeeld uit een andere groeve zodat er een andere korrelverdeling bij hoort.
3. Op voorraad houden van verschillende fracties zand en grind op basis van korrelverdeling.

In de huidige situatie kunnen Stap 1 en 2 toegepast worden zonder dat daarvoor structurele veranderingen nodig zijn. Het vergt wel optimaal gebruik van de kennis die bij experts binnen de keten beschikbaar is.

De beperkte verspreiding van deze kennis over de keten is een belemmering. Enerzijds omdat veel leveranciers hierdoor niet in staat zijn om de optimale korrelpakking te leveren en veel afnemers (uitvoerende bouwbedrijven) niet in staat zijn om problemen door een suboptimale korrelpakking te herkennen. Daarom zijn ze zich niet bewust van de meerwaarde van een optimale korrelpakking en is er dus geen aandacht voor.

Normen vormen bij infraprojecten slechts bij hoge uitzondering een belemmering. Bij woningbouwprojecten is dit vaker het geval. Normen bieden vaak ruimte om hiervoor een oplossing te zoeken, maar daar moet een opdrachtgever wel open voor staan.

Zolang de markt niet vraagt naar kwaliteit, maar naar laagste prijs zal de benodigde kennis over korrelpakking optimalisatie en de ruimte die normen bieden om af te wijken van de hoofdregels slechts beperkt aangesproken worden.





6 Smart concrete

Dit hoofdstuk gaat in op handelingsperspectief 4: Smart concrete. Na een korte introductie (Paragraaf 6.1), komen de potentie voor het verminderen van de milieu-impact (Paragraaf 6.2), de benodigde kennisontwikkeling (Paragraaf 6.3), kansen en belemmeringen (Paragraaf 6.4) aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de business case (Paragraaf 6.5) en wordt een plan van aanpak opgesteld (Paragraaf 6.6). Tot slot worden de belangrijkste inzichten voor dit handelingsperspectief samengevat (Paragraaf 6.7).

6.1 Introductie

Het handelingsperspectief smart concrete richt zich op reductie van de hoeveelheid beton en het aandeel Portlandcementklinker in beton door meer rekening te houden met de specifieke sterkte-eisen in de tijd, vooral het tijdstip van ontkisting en in gebruik name van het beton. Dit houdt verband met het feit dat de bestanddelen die in plaats van Portlandcementklinker worden gebruikt (met name poederkoolvliegias en hoogovenslak) niet alleen een lagere CO₂-footprint hebben, maar ook trager reageren dan Portlandcementklinker. Door minder Portlandcementklinker te gebruiken neemt dus niet alleen de CO₂-footprint van het beton af, maar verloopt ook de sterkte ontwikkeling trager. Deze tragere sterkteontwikkeling kan (gedeeltelijk) gecompenseerd worden door slim gebruik te maken van de mogelijkheden die er zijn, zodat slow concrete smart concrete wordt. Voorbeelden van maatregelen die gebruik van klinkerarm beton in bouwprojecten mogelijk te maken:

- Tijdens het plannen meer tijd inruimen voor het uitharden van beton.
- Maatregelen nemen waardoor een klinkerarm cement gebruikt kan worden en het beton toch net zo snel uithardt en de juiste performance heeft zoals:
 - fijner gemalen cement inzetten (bijvoorbeeld 52,5 R in plaats van 32,5 R);
 - warmtebehandeling van het beton: verwarmde gietbouw in plaats van koude gietbouw.
- Niet-destructief monitoren van de ontwikkeling van de betonsterkte, zodat de uitharding en de samenstelling geoptimaliseerd kan worden (voor de gewenste betoneigenschappen, de te behalen planning en de milieu-impact). Zodat de garantie gegeven kan worden dat de gekozen CO₂-armere betonsoorten toch aan de technische sterkte- en duurzaamheidseisen voor het beton voldoen.
- Hoogwaardig rekenen bij het ontwerp (bijvoorbeeld rekenmethoden op basis van eindige elementen methode) om niet zwaarder te ontwerpen dan nodig is voor de sterkte en daarmee zowel het Portlandcementklinker gebruik en de uithardingstijd te beperken.



6.2 Potentie voor vermindering milieu-impact

De vermindering van de milieu-impact is het gevolg van het vermeden materiaal gebruik (de hoeveelheid beton en het aandeel Portlandcementklinker per hoeveelheid beton).

De totaal mogelijke besparing is afhankelijk van de CO₂-footprint in de uitgangssituatie en de mate waarin de bovengenoemde maatregelen de mogelijkheid bieden om de benodigde hoeveelheid Portlandcementklinker te minimaliseren.

Voor reguliere betonmortel voor de woningbouw laten berekening met de zogenoemde ontwerptool4 'Groen beton' van SBRCURnet (CUR-tool) zien dat circa 35% in CO₂-emissiereductie realistisch is als bij gietbouw het eerste moment van belasting met 24 uur wordt uitgesteld (Stutech/Stufib, 2014), zie Tabel 2. Wat deze cijfers ook laten zien is dat door een warmtebehandeling een nog grotere vermindering van de milieu-impact mogelijk is zonder dat op een later tijdstip ontkist hoeft te worden. De berekening van de effecten van de warmtebehandeling staat toegelicht in een recent artikel in de Betoniek (Betoniek, 2014).

Tabel 2 CO₂-footprint (CFP) en de Milieukostenindicator (MKI) voor zowel verwarmde gietbouw (WG) en koude gietbouw (KG) bij een ontlastingstijd van respectievelijk 16 en 40 uur en bij een eindsterkte van 14 N/mm² (1614 en 4014)

	CFP kg CO ₂ /m ³	Reductie door later ontlasten	MKI €/m ³	Reductie door later ontlasten
WG1614	206		19,59	
WG4014	131	36%	14,05	28%
KG1614	390		33,05	
KG4014	262	33%	23,67	28%

Bron: Stufib/Stutech rapport 30/34 (Stufib/Stutech, 2014).

Het bovenstaande voorbeeld gaat uit van een situatie waarin er beperkt ruimte is om anders om te gaan met het beton: 24 later ontlasten en/of een warmtebehandeling. Deze beperkte ruimte om op een slimme manier klinkerarm beton in te zetten biedt al de mogelijkheid om de milieu-impact met circa 30% te besparen.

Er zijn bij grote projecten vaak onderdelen, waarbij het veel langer duurt voordat ze belast worden en waar dus nog veel grotere vermindering van de milieu-impact mogelijk is. Traditioneel wordt altijd gerekend met een genormeerde sterkte na 28 dagen, terwijl deze sterkte soms pas op een later tijdstip nodig is (= moment van belasten). Daarbij komen de extra besparingen in materiaalgebruik, die mogelijk zijn door slimmer te ontwerpen door toepassen van zogenoemde hoogwaardige rekenmethodes en het verder aanpassen van de benodigde betonsamenstelling op basis van uitkomsten van het monitoren van de sterkteontwikkeling in de tijd. Verdere optimalisatie in combinatie met korrelpakkingoptimalisatie zoals besproken in Hoofdstuk 5 is ook een mogelijkheid.

De beperking van de toepassing van deze methode is de mate waarin smart concrete leidt tot vertraging. In de meeste projecten is er sprake van een kritisch pad van de planning, zodra dat overschreden wordt loopt de planning uit en kost smart concrete extra geld. Meestal is dat zoveel dat dit reden is om smart concrete niet toe te passen (zie Paragraaf 6.5).



6.3 Stand van de techniek

Er is al veel kennis beschikbaar die het breder toepassen van smart concrete mogelijk maakt via de vakliteratuur en experts bij grondstofleveranciers, sommige bouwbedrijven en adviesbureaus. Er is wel behoefte aan meer praktijkdata over sterkteontwikkeling op de langere termijn.

Praktijkdata sterkte ontwikkeling

Het doel van het opzetten van deze database is meer inzicht geven in de ontwikkeling van de betonsterkte aan met name constructeurs zodat zij kunnen rekenen buiten de 28 dagen sterkte om en aan betoncentrales zodat zij kunnen leveren buiten de 28 daagse norm-eis om. De verwachting van de betrokken experts is dat uit deze gegevens zal blijken dat het beton in West-Europa per definitie te sterk is voor een groot aantal toepassingen en dat deze oversterkte nadelige gevolgen kan hebben (Stufib rapport 20). Zij menen daarom dat het wenselijk is om op een meer rationele manier met sterkte eisen om te gaan.

Daarnaast is het opzetten van deze database ook wenselijk voor de acceptatie van andere manieren om Portlandklinkerarme betonsoorten te ontwikkelen, zoals het eerder genoemde beton op basis van geopolymer of CSA-B-cement of beton dat klinkerarmer is door optimalisatie van de korrelpakking.

Op dit moment is er voor de 28 daagse sterkte een enorme hoeveelheid praktijkdata beschikbaar waardoor daar met statistische analyses een gedegen risico analyse op gedaan kan worden. De sterkte ontwikkeling op de langere termijn is minder goed gedocumenteerd.

Om meer zekerheid te krijgen over hoe langere uithardingstijden uitwerken in de praktijk kan een database opgezet worden, die gevoed wordt met praktijkgegevens van de sterkte ontwikkeling over meerdere maanden en jaren.

Om dit te realiseren zullen meetprotocollen opgesteld moeten worden en methodes om deze data automatisch op te nemen in een database.

Berekening vermindering van de milieu-impact

Naast de bovengenoemde behoefte aan een database voor praktijkgegevens over langere termijn sterkteontwikkeling is er op dit moment behoefte aan versterking van de nationale milieudatabase (NMD)⁹ om zo de beschikbaarheid van geverifieerde milieudata zeker te stellen. De vermindering van de milieu-impact door inzet van klinkerarmere cementsoorten kan dankzij de CUR-tool gemakkelijk bepaald worden, mits de benodigde milieudata bekend zijn.

Bij de gewenste versterking van de NMD gaat het met name om de compleetheid van de NMD, het vereiste verdienmodel, het ontbreken van controle door het bevoegd gezag. De NMD is er dus al maar moet verder worden uitgebouwd.

Los van de NMD heeft de sector gebruik gemaakt van de betondatabase voor het maken van berekeningen. Veel gegevens zijn nu ook in de NMD opgenomen, maar nog niet allemaal omdat niet alle gegevens al het kwaliteitsniveau van de NMD hebben (opgesteld op basis van een LCA) dan wel niet zondermeer daar in passen.

⁹ De NMD is de database van producten die door SBK wordt beheerd en gekoppeld is aan de bij behorende bepalingsmethode. Sinds 1 januari 2013 moet bij elke aanvraag voor een omgevingsvergunning van een nieuwbouwwoning en nieuwe kantoorgebouwen die groter zijn dan 100 m² een milieuprestatieberekening worden bijgevoegd.



6.4 Kansen en belemmeringen

Zoals hierboven is aangegeven is alle benodigde kennis beschikbaar. Deze wordt nog weinig gebruikt omdat de huidige manier van werken in de bouw mensen niet uitdaagt om deze kennis te gebruiken. Zoals de naam smart concrete aangeeft vergt het toepassen van klinkerarme cementen een nieuwe evaluatie van de standaard werkprocedure om de ongewenste effecten van klinkerarm cement te kunnen compenseren. Om dat te kunnen doen, moeten er meer partijen in een vroegtijdig stadium betrokken worden bij de projectvoorbereiding. Daarnaast is er door de relatieve onbekendheid van rekenen aan de sterkteontwikkeling buiten de 28 daagse sterkte om de perceptie dat de genomen risico's hoger zijn. Naast het voordeel van de sterke verlaging van de milieu-impact van smart concrete is er het bijkomend voordeel dat er gewerkt wordt met een beter doordacht ontwerp en beter doordachte planning, dus er is een lagere kans op verassing tijdens het bouwen en daardoor wordt er juist een lager risico gelopen. Hierdoor is het aannemelijk dat faalkosten ook worden gereduceerd. Daarnaast is er de laatste jaren een cultuur om steeds sneller op te moeten leveren en bij vertraging een boete te krijgen, dit schrikt het langzamer uitvoeren van onderdelen van een project af.

Afwijken van de bestaande paden

Belemmering Omdat er geen onderscheid is bij het winnen van tenders op de kwaliteit van het aangeboden beton in het algemeen en in termen van CO₂-arm beton in het bijzonder, werken constructeurs in een zeer krappe planning, zonder tijd voor het onderzoeken van maatwerk oplossingen om tot een lagere CO₂-footprint te komen.

Kans Tijdens de aanbesteding de mogelijkheid bieden om te onderscheiden op CO₂-footprint, niet alleen in de beloning van laagste milieu-impact van het beton, maar ook door constructeurs meer tijd te geven om met een goede oplossing te komen. Hierdoor kunnen mogelijk ook de productiekosten omlaag bij gelijkblijvende of zelfs hogere eindkwaliteit.

Risicoperceptie

Belemmering De verzekeraarbaarheid van een werk is vaak gekoppeld aan een zeer letterlijke interpretatie van de normen, die geen ruimte laat voor maatwerkoplossingen.

Kans Afwijken van de letterlijke normen kan voortkomen uit het beter doordenken van ontwerpen en beter doordenken van een planning. Hierdoor is het aannemelijk dat er juist minder verassing optreden tijdens het bouwen, waardoor de risico's juist lager uitvallen. In samenwerking met grote opdrachtgevers die open staan voor innovatie zoals Rijkswaterstaat kan door de bouw het gesprek aan gegaan worden met de verzekeraars over de omstandigheden waaronder wel van de normen afgeweken kan worden. Immers goed doordachte ontwerpen en plannings zijn ook in het belang van de verzekeraars. Een manier om de verzekeraars de benodigde zekerheid te bieden is de ontwikkeling van een database over sterkte ontwikkeling zoals beschreven in de paragraaf 6.3. Dit biedt de mogelijkheid om gelijkwaardigheid in prestatie (Equivalent Performance) aan te tonen voor een groter aantal toepassingen dan nu al mogelijk is.

Snel, sneller snelst

Belemmering De laatste jaren is verkorten van de bouwtijd een belangrijk competitief element geworden. Hierdoor is een cultuur ontstaan die het langzamer uitvoeren van onderdelen ook al zijn ze niet kritisch ontmoedigt.

Kans In de voorbereidende fase het werk goed te analyseren op welke onderdelen kritisch zijn en welke onderdelen niet. Vervolgens de planning verbeteren door



een slimme aanpak: hoogwaardig rekenen en het vergaren van kennis via monitoring van de uitharding en de sterkte ontwikkeling van het beton. Op deze manier kan de planning sterk verbeterd worden en daarmee de doorlooptijd op de bouwplaats sterk verkort worden. In deze benadering zorgt smart concrete juist voor een snelle realisatie van een project. Dit geldt niet alleen voor de gietbouw ook in de prefab zijn er voorbeelden bekend waar een significante milieuwinst gerealiseerd kon worden zonder de performance en de snelheid van lossen te verminderen en toch een klinkerarmer cement toe te passen.

6.5 Business case

Smart concrete staat voor het zo efficiënt mogelijk toepassen van alle bestaande kennis om cement met minder Portlandcementklinker in te zetten. Hiermee is kostenneutraal of zelfs tot 10% kostenbesparing te realiseren zolang het slim genoeg gedaan wordt zodat:

1. De performance van het beton niet verminderd, of zelfs verbeterd omdat oversterkte vermeden wordt. Oversterkte is ongewenst omdat dit kan leiden tot scheurvorming en daardoor aantasting van de wapening.
2. De kritische planning niet overschreden wordt.

Dit laatste betekent ook dat hoe meer ruimte een opdrachtgever biedt om in de planning te schuiven hoe meer kansen er zijn voor smart concrete.

Voorbeelden van situaties geschikt voor smart concrete

In het algemeen geldt dat de business case kostenneutraal is en mogelijk met een beperkte plus.

Hieronder geven we drie voorbeelden van projecten waarin smart concrete toegepast kan worden met een positieve business case¹⁰:

- Laagbouwprojecten in grote oplagen. Bij laagbouwprojecten in kleine oplagen is de kans op extra kosten door vertraging veel groter dan bij projecten in grote oplagen, omdat er minder ruimte is in de planning om leegloop door spreiding van werkzaamheden op te vangen. Bij slanke hoogbouw (bijvoorbeeld een woontoren of kantoor) moet dus overgegaan worden op andere methodes om klinkerarm cement in te kunnen zetten zoals verwarmde gietbouw mits dit mogelijk is binnen de geldende milieuvergunningen en sterkteklassen voor het cement. Op die manier kan er in een aantal situaties klinkerarm cement ingezet worden zonder dat er vertraging optreedt.
- Bij kleinere bruggen en viaducten wordt de constructie grotendeels in prefab gefabriceerd. Zoals hierboven genoemd is in de prefab-productie ook de mogelijkheid om een beperkte kostenreductie te realiseren door een groter aandeel klinkerarm cement toe te passen. De druklaag van bruggen is één van de weinige onderdelen die niet prefab aangeleverd wordt. Deze laag kan met trager klinkerarm cement gestort worden, omdat er daarna nog wat kleinere onderdelen gerealiseerd moeten worden waardoor er meestal genoeg tijd is om uit te harden voordat het asfalt aangebracht moet worden. Bij grotere constructies is het monitoren van de sterkte ontwikkeling en het daarop aanpassen van de gebruikte betonsamenstelling een manier om het optimale klinkergehalte te kunnen bepalen.
- Bij onderdoorgangen in de grond wordt vaak eerst de vloer aangebracht en daarna de wanden. Dit betekent dat de vloer, dus meer tijd heeft om uit

¹⁰ Meer voorbeelden zijn te vinden op www.concremote.com/site/referenties/.



te harden en dus met smart concrete gemaakt kan worden. Bij de wanden is dit meestal niet het geval omdat die vaak beperkend zijn in de planning. Voor alle onderdelen van een onderdoorgang is berekening van de precieze hoeveelheid benodigd beton met hoogwaardig reken methodes een manier om te voorkomen dat er teveel beton gebruikt wordt en nauwkeurig te weten hoe de belasting zich ontwikkelt in de tijd voor ieder deel van de onderdoorgang. Op die manier kan veel nauwkeuriger bepaald worden wat de benodigde cementsoorten zijn.

- Naast het effect van het soort project is er ook nog een seizoensinvloed. Vanwege de lagere gemiddelde temperaturen is in de winter vaak Portlandklinkercement (CEM I) nodig in projecten waar in de zomer door de hogere temperatuur gebruik gemaakt wordt van hoogovencement (CEM III) dat hogere temperaturen nodig heeft om uit te harden maar wel CO₂-armer is. Het bespreekbaar maken van dit seizoenseffect kan in de woningbouw de CO₂-footprint van een project sterk beïnvloeden.

Kosten en baten van toepassen van smart concrete

Zoals aangegeven in de inleiding is er veel milieuwinst te behalen zonder extra kosten te maken of zelfs met beperkte baten. De baten bestaan uit een reductie van cementkosten. Het baten zijn beperkt omdat de ene cementsoort vervangen wordt door de andere cementsoort. Bij de overstap van Portlandklinkercement (CEM I) naar CO₂-armer hoogovencement (CEM III) is er een kostenreductie van 6-10% mogelijk.

De kosten bestaan uit extra kosten die gemaakt moeten worden om het beton smart toe te passen. Deze kosten zijn beperkt tot bijvoorbeeld:

- in zijn algemeenheid extra organisatiekosten en uren van ontwerpers en constructeurs om duurzame innovatieve oplossingen te bedenken;
- extra maatregelen om klinkerarm beton in te kunnen zetten zoals bijvoorbeeld verwarmen van het beton bij warm gieten.

De extra tijd die ontwerpers en constructeurs nodig hebben zal na verloop van tijd afnemen, omdat steeds meer ervaring opgebouwd wordt met slimme oplossingen, die nodig zijn om klinkerarm beton succesvol toe te passen. Zo gauw de kritische planning overschreden wordt stijgen de kosten die daardoor extra gemaakt moet worden sterk.

Voor de business case is het dus vooral heel belangrijk om de planning vooraf goed te analyseren en naast later ontkisten ook andere strategieën toe te passen om klinkerarm cement te kunnen gebruiken, zonder dat er sprake is van vertraging op de planning.

Een grotere uitdaging is de risicoperceptie. Deze risicoperceptie bestaat uit twee aspecten:

1. Kosten voor het overtreden van de kritische planning.
2. Verzekeraarbaarheid/aansprakelijkheid bij construeren/leveren van cement buiten de 28 daagse sterkte om.

Verzekeraarbaarheid/aansprakelijkheid

Verzekeraarbaarheid/aansprakelijkheid bij construeren/leveren van cement buiten de 28 daagse sterkte om, kan een reëel probleem vormen. Voor die gevallen dat de maatschappelijke baten significant zijn en er een goede onderbouwing beschikbaar is waarom het risico acceptabel is heeft Rijkswaterstaat een garantiefonds opgezet. Op deze manier hoeft dit aspect geen belemmering voor een grote milieuwinst te vormen.

Daarnaast is er behoefte aan een lange termijn aanpak in de vorm van de eerder genoemde database voor lange termijn sterkte ontwikkeling van betonsoorten. Op basis van de gegevens die in deze database verzameld worden is het mogelijk om de risicoberekening beter met praktijkcijfers te



onderbouwen waardoor op de langere termijn de acceptatie van construeren/leveren buiten de 28 daagse sterkte om vergroot wordt. Mogelijk door het certificeren van een bepaalde werkwijze. In de bouw wordt veel gewerkt met (o.a. KOMO) certificaten. Deze certificaten zijn het bewijs dat overtuigend is aangetoond dat het materiaal/product voldoet aan de in normen gestelde eisen.

6.6 Plan van aanpak

Er zijn al een aantal stappen genomen om dit handelingsperspectief optimaal in te zetten. De goed beton tool (CUR-tool) is ontwikkeld en beschikbaar voor iedereen in de bouw.

De VOBN heeft het besluit genomen dat alle leden vanaf 1 januari 2015 in staat moeten zijn om de CUR-tool zodanig te kunnen gebruiken dat klanten geadviseerd kunnen worden op basis van de uitkomsten van de berekeningen die met de CUR-tool gemaakt worden.

Verder is er behoefte aan concrete pilotcases in de vorm van het uitwerken van de voorbeelden uit het Stutech/stufib-rapport met hoogwaardig rekenen en smart concrete en optimaal gebruik van kennis over de ontwikkeling van het beton zoals verkregen door het monitoren van uithardend beton.

Bovendien kan de informatie die op deze manier vergaard wordt als startpunt voor de ontwikkeling van de database zoals genoemd onder Paragraaf 6.3. Om deze database te realiseren zullen de volgende stappen genomen moeten worden:

- Er moet een partij verantwoordelijk gemaakt worden voor de organisatie en het beheer van de database. Zodanig dat hij nationaal toegankelijk is.
- Er moeten protocollen ontwikkeld worden voor het aanleveren van praktijkgegevens over de sterkte ontwikkeling (sterkten op 1, 3, 7, 14, 21, 56 en 91 dagen, 1, 3 en meer jaren).
- De betoncentrales en cementleveranciers dienen meer metingen op met name langere termijn uit te voeren en deze gegevens (anoniem) beschikbaar te stellen.
- Partijen die de sterkteontwikkeling meten op het werk, volgens goedgekeurde protocollen worden uitgenodigd om data aan te leveren.

6.7 Conclusies

Het handelingsperspectief is gericht op reductie van het aandeel Portlandcementklinker in beton door meer rekening te houden met de specifieke sterkte-eisen in de tijd. Bestanddelen die Portlandcementklinker vervangen hebben een lagere CO₂-footprint en de sterkte ontwikkeling verloopt trager. Dit kan (gedeeltelijk) gecompenseerd worden door slim gebruik te maken van de mogelijkheden die er zijn, zodat slow concrete smart concrete wordt. Cruciaal is uiteraard dat de technische duurzaamheid gewaarborgd blijft. Voorbeelden van maatregelen die gebruik van klinkerarm beton in bouwprojecten mogelijk kunnen maken zijn:

- Tijdens het plannen meer tijd inruimen voor het uitharden van beton.
- Maatregelen nemen waardoor een klinkerarmer cement gebruikt kan worden en het beton toch net zo snel uithardt en de juiste performance heeft zoals:
 - Een fijnere maling kiezen (bijvoorbeeld 52,5 R i.p.v. 32,5 R).
 - Warmtebehandeling van het beton: warm gieten in plaats van koud gieten.



- Niet-destructief monitoren van de ontwikkeling van de betonsterkte, zodat de uitharding en de samenstelling geoptimaliseerd kan worden (voor de gewenste betoneigenschappen, de te behalen planning en de milieu-impact). Zodat de garantie gegeven kan worden dat de gekozen CO₂-armere betonsoorten toch aan de technische duurzaamheidseisen voor het beton voldoen.
- Hoogwaardige rekenen bij het ontwerp (eindige elementen methode) om niet zwaarder te ontwerpen dan nodig is voor de sterkte en daarmee zowel het Portlandcementklinker gebruik en de uithardingstijd te beperken.

Toepassing van deze principes wordt voornamelijk beperkt door onbekendheid van de mogelijkheden en van het feit dat men kan afwijken van de gebruikelijke routines en werkwijzen zonder afbreuk te doen aan veiligheids- en kwaliteitseisen. Dit vergt goed opgeleide mensen. Om meer praktijkkennis te vergaren is het van belang dat er een nationaal toegankelijke database komt met lange termijn meetgegevens over de sterkte ontwikkeling van betonsoorten. Om te zorgen dat de mensen die deze kennis propageren meer respons krijgen, zou markt ruimte bieden moeten bieden voor een innovatieve aanpak en CO₂-arme aanbiedingen extra moeten belonen.



7 Betonkernactivering nieuwe stijl

Dit hoofdstuk gaat in op handelingsperspectief 5: Betonkernactivering nieuwe stijl. Na een korte introductie (Paragraaf 7.1), komen de potentie voor het verminderen van de milieu-impact (Paragraaf 7.2), de benodigde kennisontwikkeling (Paragraaf 7.3), kansen en belemmeringen (Paragraaf 7.4) aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de business case (Paragraaf 7.5) en wordt een plan van aanpak opgesteld (Paragraaf 7.6). Tot slot worden de belangrijkste inzichten voor dit handelingsperspectief samengevat (Paragraaf 7.7).

7.1 Introductie

Het handelingsperspectief betonkernactivering richt zich op de realisatie van het volledige energiebesparende potentieel van een optimale integratie van de betonconstructie en installaties. Dit betekent dat in de ontwerpfase de warmte- en koudevraag in een gebouw eerst geminimaliseerd wordt door het toepassen van principes zoals luchtdichtbouwen¹¹ en hoge schil isolatie en dat er zeer efficiënte opwekking van warmte dan wel koude wordt toegepast. De rol van betonkernactivering is die van afgiftesysteem van de benodigde warmte en of koelte.

Daarnaast vult de hoge warmtecapaciteit van beton de temperatuurpieken in een gebouw af en ervaren gebruikers/bewoners warmteregeling via straling als aangenamer dan warmteafgifte via convectie. Door te sturen op de temperatuur van de betonconstructies in plaats van de luchttemperatuur is het mogelijk om met hogere temperaturen te koelen en met lagere temperaturen te verwarmen wat de mogelijkheid biedt om met kleinere installaties te werken. Toepassing van deze principes leidt er toe dat het betreffende gebouw veel energie-efficiënter is dan de meeste bestaande gebouwen met betonkernactivering. Vandaar de naam betonkernactivering *nieuwe stijl*.

7.2 Potentie voor vermindering milieu-impact

Er wordt veel verwacht van de rol van beton in de betonkernactivering: dempen van de vraag naar warmte en koelte, herverdelen van lokale warmte en koelte overschotten en energiegunstigere afstelling van de thermostaat (kouder in de winter en warmer in de zomer) doordat de gebruikers de temperatuur ervaren als prettiger omdat de warmteafgifte via straling gaat.

In landen waar al langer strenge eisen gesteld worden aan het energiegebruik zijn er al enige jaren technische en commerciële concepten in de praktijk bewezen om zeer energiezuinig te bouwen. Ze maken daarbij gebruik van betonkernactivering (Gruppe Betonmarketing Österreich, 2010).

¹¹ Hierdoor kan de hoeveelheid ventilatielucht sterk worden beperkt, wat een substantiële bijdrage levert aan de energiebesparing.



Het is niet zo dat deze techniek veel energiezuinigere gebouwen mogelijk maakt dan met andere technieken mogelijk is. Wel is het zo dat deze gebouwen kostenefficiënt zijn vergeleken met andere gebouwen die net zo energiezuinig zijn. Dit komt voornamelijk door dat deze gebouwen weinig regeltechniek gebruiken en relatief kleine installaties nodig hebben om in de warmte en koude vraag te voorzien.

7.3 Stand van de techniek

Zoals de inzendingen voor een innovatieprijs in 2010 laten zien, is er in Duistland, Zwitserland en Oostenrijk een groot aantal voorbeelden van zeer energiezuinige concepten die met betonkernactivering zijn gerealiseerd en die commercieel aangeboden worden (Gruppe Betonmarketing Österreich, 2010).

In Nederland zijn in het nabije verleden verschillende gebouwen gerealiseerd die in naam gebruikmaken van het betonkernactiveringsconcept. Echter, vaak is het concept suboptimaal toegepast door, bijvoorbeeld, onvoldoende isolatie, onvoldoende luchtdicht gebouwd, temperatuur sturing op luchttemperatuur in plaats van op temperatuur van de betonconstructie, te grote installaties voor de benodigde vraag aan warmte en koelte, onvoldoende gebruik van de warmtecapaciteit van het beton. Hierdoor is het energieverbruik van deze gebouwen vaak veel hoger dan de gebouwen die de Innovationspreis gewonnen hebben.

De beschikbare kennis en ervaring met de optimale toepassing van betonkernactivering zijn in Nederland nog beperkt. Hoopgevend is de trend die onder de noemer (energie)notaloze gebouwen lijkt te ontstaan richting techniekluw en energieluw ontwerpen. Deze trend biedt aangrijpingspunten om ook in Nederland kennis en ervaring op te bouwen rond het optimaal gebruik van betonkernactivering.

Er zijn wel rekenmodellen voor betonkernactivering in Nederland beschikbaar maar die zijn complex en gebruiksonvriendelijk en bieden niet de mogelijkheid van een quick scan (kan betonkernactivering meer waarde bieden in dit ontwerp?). Zover bekend zijn er geen rekenmodellen vrij verkrijgbaar voor ontwerpers om de interactie tussen (beton)constructie, isolatie, luchtdichtheid, energievoorziening en binnenklimaat door te kunnen rekenen. Dit is nodig om een feitelijke inschatting te kunnen maken voor de energiebesparing die door betonkernactivering mogelijk is. Op dit moment lopen de meningen van de experts op het gebied van energieberekeningen aan gebouwen sterk uiteen over de vraag of en de mate waarin betonkernactivering bij kan dragen aan een lager energieverbruik.

7.4 Kansen en belemmeringen

We onderscheiden de volgende typen kansen en belemmeringen:

- wet- en regelgeving en normering;
- productimago;
- ketensamenwerking;
- beschikbare kennis.

Hieronder lichten we ze één voor één toe:

Wet- en regelgeving en normering

Belemmering

De Nederlandse wetgeving over de energieprestaties van gebouwen is gebaseerd op de Europese Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Hierdoor is er een minimale energieprestatie voor alle soorten nieuwbouw



voorgeschreven. Dit wordt in Nederland weergegeven met de EPC-waarde van het gebouw (deze normen gelden voor alle verwarmde gebouwen, alleen de manier waarop ze berekend worden verschilt tussen woonhuizen, kantoren en utilitaire gebouwen). De huidige norm schrijft voor: EPC=0,6, vanaf 2015 geldt EPC=0,4 en alle gebouwen die na 31 december 2020 worden gebouwd, moeten 'bijna energie neutrale gebouwen' (BENG) zijn. De benodigde energie moet grotendeels uit hernieuwbare energiebronnen komen, ter plaatse of vlakbij het gebouw. Zoals stadsverwarming of collectieve zonnepanelen. Voor overheidsgebouwen geldt deze standaard (BENG) al vanaf 31 december 2018. Probleem is dat het vrij onduidelijk is wat BENG betekent. In de praktijk betekent het nu dat de energie die nodig is voor verwarmen, koelen, verlichting en isolatie opgewekt moet worden in de postcoderoos. Onderzoek naar innovatie in de bouw laat zien dat deze onduidelijkheid de mate van innovatie in de bouw beperkt en daarmee een zeer ongewenste situatie is. Als innovatie over gelaten wordt aan de markt is het belangrijk dat er ambitieuze doelen gesteld worden aan de energievraag van een gebouw (liefst in combinatie met ambitieuze eisen aan het binnenklimaat) en dat naleving streng gecontroleerd wordt. Dat zijn optimale omstandigheden om de benodigde innovatie op gang te brengen (Mlecknik, 2012).

De huidige praktijk in Nederland is dat de eisen niet erg ambitieus zijn door de onduidelijkheid die bestaat omdat er geen minimumeisen aan het energieverbruik van energiezuinige gebouwen is gesteld en omdat de bestaande rekenmodellen onvoldoende gerelateerd zijn aan de daadwerkelijke situatie in een gebouw. Hierdoor worden concepten die gebaseerd zijn op een goede isolatie van het gebouw slechter beoordeeld dan concepten die maximaal inzetten op installatietechniek om dezelfde EPC-score te realiseren. Dit betekent dat effectieve concepten om zeer energiezuinig te bouwen slechter beoordeeld worden dan concepten die in de praktijk minder goed presteren. Daarbij komt het besluit van minister Blok om de isolatie waarden te differentiëren waardoor vloeren slechts een R_c -waarde van 3,5 hoeven te hebben (Rijksoverheid, 2013), terwijl voor een goed functionerend betonkern-activeringsconcept de R_c -waarde van de gehele gebouw minimaal 5,0 en liefst hoger moet zijn. Dit is een belemmering voor iedereen die energiezuinig wil ontwerpen.

Kans Zoals aangegeven betekent BENG in de praktijk dat de energie die nodig is voor verwarmen, koelen, verlichting en isolatie opgewekt moet worden in de postcoderoos waar het gebouw staat. Met betonkernactivering nieuwe stijl in combinatie met efficiënte opwekmethodes kan hieraan voldaan worden.

Productimago

Belemmering De afgelopen jaren zijn er gebouwen op de markt gebracht die betonkern-activering gebruiken, maar dat zo suboptimaal doen dat deze gebouwen soms zelfs meer in plaats van minder energieverbruiken.

Vaak hangt dit samen met onvoldoende isolatie en onvoldoende luchtdicht bouwen in combinatie met het gebruik van te grote installaties die verkeerd aangestuurd worden en daardoor niet goed functioneren.

In deze omstandigheden is het mogelijk dat niet alleen de milieuprestaties slechter zijn dan voorzien, maar ook het binnenklimaat ongunstig beïnvloed wordt.

Kans De huidige betonproductie heeft gemiddeld een relatief hoge CO₂-footprint in vergelijking met andere bouwmaterialen, daarom wordt betongebruik van oudsher zoveel mogelijk vermeden bij duurzaam bouwen. Door de nieuwe ontwikkelingen in de productie van beton is het echter mogelijk om de milieuschade van het materiaal sterk te beperken. Volgens de laatste berekeningen hebben de meest CO₂-arme kanaalplaatvloeren een milieuschaduwprijs van € 2,64/m² terwijl de milieuschaduwkosten van een



functioneel gelijkwaardige houtenvloer € 2,55/m² bedragen¹². Dit betekent dat de inzet van het materiaal beton geen milieubelemmering hoeft te zijn.

Weinig flexibel systeem

Belemmering

Betonkernactivering is letterlijk in beton gegoten. Dat maakt het systeem weinig flexibel. Dit heeft een aantal oorzaken:

- De hoge warmtecapaciteit, het voordeel van deze warmtecapaciteit is dat de piekvraag in het energieverbruik afgetopt wordt (zowel voor warmte als voor koeling) doordat warmte/koelte in de constructie opgeslagen wordt en bij verandering van temperatuur weer afgegeven wordt aan de omgeving. Dit is een belangrijke pijler van de energie-efficiënte van betonkernactivering, maar het zorgt er ook voor dat de temperatuur in een kamer maar langzaam bijgestuurd kan worden.
- Naast het feit dat het systeem langzaam reageert is ook de bandbreedte van de hoeveelheid warmte die aangevoerd of afgevoerd kan worden beperkt. Dit betekent dat een werkkamer voor 4 personen niet zomaar gebruikt kan worden als vergaderzaal voor 8 personen.

Voor woningen is dit geen enkel probleem, mits uitgelegd wordt aan de bewoners hoe je kunt anticiperen op deze beperkte flexibiliteit. Voor kantoren gaat dit lijnrecht in tegen de huidige trend om gebouwen steeds flexibeler te gebruiken en beperkt dat dus de acceptatie van het systeem.

Kans

De lage flexibiliteit is ook een kans want omdat de temperatuur maar beperkt bijgestuurd kan worden, kan er ook uitgespaard worden op regeltechniek. Individuele instelling van de temperatuur van de werkplek is immers maar zeer beperkt mogelijk. Dit maakt significante besparingen op regeltechniek mogelijk.

Als flexibiliteit nodig is kan gekozen worden voor hybride systemen voor het klimatiseren van gebouwen. De betonkernactivering voorziet dan in een basis temperatuur van het gebouw en door additionele installaties zoals bijvoorbeeld een koelplafond kan voorzien worden in snelle aanpassing aan de actuele gebruikssituatie (bijvoorbeeld doormiddel van aanwezigheids-sensoren).

Ketensamenwerking

Belemmering

Voor het optimaal toepassen van betonkernactivering is zeer intensieve samenwerking tussen de betrokken disciplines noodzakelijk. Uit een recente publicatie van Stufib (Stufib, 2014) blijkt dat de verschillende partijen onvoldoende kennis hebben van thermische betonactivering in het algemeen en elkaars specialistische kennis op details in het bijzonder. De Stufib-werkgroep doet de aanbeveling om elk project waarin thermische betonactivering een prominente rol speelt bij het klimatiseren van een gebouw, te beginnen met een bijeenkomst waaraan alle betrokken partijen deelnemen: opdrachtgever, architect, constructeur, installatieadviseur, aannemer, vloerenleverancier, installateur en leverancier van de thermische betonactivering. Op deze bijeenkomst kan elke partij duidelijk maken welke rol hij speelt en op welke onderdelen zijn inbreng niet onderhandelbaar is (Stufib, 2014).

Kans

Deze manier van werken stelt het eindresultaat centraal. Dat is in de huidige markt ook zonder betonkernactivering een noodzaak. Hierdoor is er al een trend om meer in bouwteams te gaan werken en zo de bestaande gescheiden bouwwerelden (bouwkunde, elektrotechniek, werktuigbouwkunde, isolatie, installatietechniek) dichter bij elkaar te brengen. Deze trend wordt versterkt

¹² Nationale Milieudatabase versie, 1.6 d.d. juli 2014.



door een verschuiving van voorgeschreven bestek naar prestatie en vraag-gestuurd ontwerpen en bouwen.

Beschikbare kennis

Belemmering

De benodigde kennis is sterk versnipperd zover al in Nederland beschikbaar. Er zijn in Nederland weinig goede voorbeelden breed gecommuniceerd over de technologie, ontwerp, inpasbaarheid en gebruikservaringen. Er is geen breed aanvaard bouwfysisch rekenmodel over de juiste aanpak van het gebouwontwerp om tot optimaal toepassen van betonkernactivering te komen. Deze modellen zijn wel beschikbaar in Duitstalige landen en Scandinavië en moeten op hun merites worden beoordeeld voor de Nederlandse situatie.

Kans

De ontwikkeling van een dergelijk model in de vorm van een algemeen beschikbaar model waar iedereen de parameters die voor hem of haar van toepassing zijn zelf in kan voeren zou een grote stap voorwaarts zijn in deze situatie. Het zou niet alleen helpen om het gebouw integraler te benaderen, maar het zou ook kunnen fungeren als een instrumenten om de communicatie tussen de verschillende ketenpartners te vergemakkelijken en de beschikbare kennis te bundelen.

7.5 Business case

Mits goed uitgevoerd is de business case voor betonkernactivering positief omdat bij optimaal toegepaste betonkernactivering de bouwkosten vergelijkbaar zijn met een gewoon gebouw, maar het gebouw zuinig is in gebruik door de lage energielasten en in onderhoud door de kleinere en minder onderhouds-gevoelige installaties.

Toch is het belangrijkste verkoopargument een hoger comfort.

Comfort

In betonkernactivering wordt het gehele betonoppervlak gebruikt voor warmte-uitwisseling met de omgeving. Dit heeft twee voordelen de temperatuur wordt geregeld via de warmtestraling door de betonnen constructie. Dit biedt een gelijkmatige temperatuurverdeling waardoor er geen tocht optreedt in het gebouw en er minder sprake is van pieken in de temperatuur door veranderingen in de buitentemperatuur. Dit wordt door de meeste mensen als zeer prettig ervaren.

Lagere energielasten

Bij betonkernactivering nieuwe stijl wordt in de ontwerpfase de warmte en koelte, die door installaties geleverd moet worden geminimaliseerd. Dit gebeurt door een combinatie van hoge isolatiewaardes, hoge luchtdichtheid van het gebouw, efficiënte opwekking van de benodigde energie en optimaal gebruik van de warmtecapaciteit van het beton. De haalbaarheid van dit laatste effect is omstreden. Omdat er weinig voorbeelden bekend zijn waarin dit is toegepast. Hierdoor zijn er geen praktijkdata openbaar beschikbaar om dit effect te onderbouwen. Daarnaast maakt betonkernactivering per definitie gebruik van warmte regulering door stralingswarmte van grote bouwkundige oppervlakken zoals vloeren en plafonds. Doordat mensen gevoeliger zijn voor de stralingswarmte van deze oppervlakken dan voor de luchttemperatuur hoeft alleen de temperatuur van een gebouw geregeld te worden (de lucht in het gebouw mag warmer zijn zolang het gebouw zelf maar koel is ervaren de mensen het gebouw als koel, idem voor koude lucht in een warm gebouw). Door de warmtecapaciteit van een betonnen gebouw worden grote schommelingen in dag- en nachttemperatuur afgevlakt en kan er dus met een constante maar



relatief lagere energietoevoer een gebouw op temperatuur gehouden worden als er sprake is van grote wisselingen in buitentemperatuur. Daardoor is er bij betonkernactivering nieuwe stijl in deze situaties een lagere en constantere vraag naar koelte/verwarming. Dit kost minder energie om op te wekken dan een sterk wisselende vraag omdat de efficiëntie van de opwekking hoger is bij een constante vraag.

Kleinere en minder onderhoudsgevoelige installaties

Zoals hierboven is uitgelegd is er bij betonkernactivering nieuwe stijl een veel lagere en veel constantere vraag voor koelte/verwarming. Hierdoor is niet alleen minder energie nodig, maar kan men ook toe met veel kleinere installaties. De installaties zijn kleiner omdat de totale vraag naar warmte/koelte kleiner is, maar nog belangrijker omdat de pieken in de warmte/koelte vraag sterk afgevlakt zijn. Hierdoor kunnen de benodigde installaties continu op hun maximale efficiency draaien.

Doordat de benodigde installaties veel kleiner zijn en bijna continu op hun maximale efficiency draaien zijn ze minder onderhoudsgevoelig dan grote installaties die veel minder continu kunnen draaien.

Daarnaast is door de trage reactie van betonkernactivering op temperatuurswisselingen minder regelapparatuur nodig. Dit verlaagt de kosten verder. Als gekozen wordt voor hybride systemen vervalt dit voordeel.

7.6 Plan van aanpak

Voor de uitrol van betonkernactivering wordt uitgegaan van het principe dat het beschikbaar maken van de juiste kennis voldoende moet zijn om dit concept op grote schaal uit te rollen. De nadruk ligt dus op communicatie en verkrijgen van draagvlak.

Daarvoor is het volgende stappenplan voorzien:

1. Toetsing kansen en belemmering via expertinterviews.
2. Verkrijgen draagvlak in 'gouden driehoek' (Kenniskonferentie).
3. Ontwikkeld, gevalideerd en geaccepteerd rekenmodel.
4. Praktijkvoorbeelden vinden en uitdragen.
5. Inbedden bij alle partijen.
6. Onderwijsmateriaal.

Hieronder lichten we deze stappen toe:

Toetsing kansen en belemmering

Zomer van 2014 wordt door BuildSight onder een representatieve steekproef van bedrijven een onderzoek gedaan naar beschikbare kennis, kunde en capaciteit bij ingenieursbureaus voor succesvol ontwerpen van thermisch actieve gebouwen met betonkernactivering. Op basis van de uitkomsten wordt geëvalueerd in hoeverre de hierboven gegeven inschatting van kansen en belemmeringen gedragen wordt door andere partijen en in hoeverre deze nog aanpassing of aanvulling behoeft.

Verkrijgen draagvlak in 'gouden driehoek' (conferentie)

Op basis van de uitkomsten van het BuildSight onderzoek wordt in het najaar van 2014 een conferentie georganiseerd voor beleidsmakers en beslissers in de gouden driehoek: overheid, onderwijs en bedrijfsleven. Doelstelling van deze conferentie is het bekendheid geven aan de verkregen inzichten over betonkernactivering nieuwe stijl en de kansen en belemmeringen en draagvlak creëren om tot gezamenlijke oplossingen voor deze belemmeringen te komen.



Ontwikkeld, gevalideerd en geaccepteerd rekenmodel

Zoals in het voorgaande is aangegeven is voor het afstemmen van de warmte en koeltevraag in relatie tot constructie en energie installaties en de rol van de betonkernactivering daarbij een integrale benadering van het gebouw nodig.

De geraadpleegde experts geven aan dat ze behoefte hebben aan een open source rekenmodel om tot de benodigde kennisontwikkeling en kennis-uitwisseling te komen. Een dergelijk model bestaat nog niet in Nederland. De doelstelling is dat een kennisinstelling in samenwerking met experts uit de sector en op basis van kennis over modellen die in het buitenland bestaan en inzichten die uit andere researchprojecten zijn opgedaan (bijvoorbeeld GEOTABS) een dergelijk model ontwikkeld en valideert op basis van vooraf gedefinieerde functionele criteria van de betrokken marktpartijen (Rehva, 2013). Zodat voor eind 2015 een opensource rekenmodel beschikbaar is dat gevalideerd is in de praktijk en geaccepteerd wordt door alle betrokken marktpartijen.

Praktijkvoorbeelden vinden en uitdragen

Goede praktijkvoorbeelden zijn een krachtig middel voor het stimuleren van de markt. Goed voorbeeld doet volgen. Dit geldt voor potentiële opdrachtgever die zelf willen zien/ervaren dat betonkernactivering nieuwe stijl in de praktijk echt lagere energiekosten en onderhoudskosten heeft en echt een prettig binnenklimaat heeft.

Maar ook voor potentiële bouwers van betonkernactivering nieuwe stijl, zij hebben voorbeelden nodig om te leren wat betonkernactivering nieuwe stijl in de praktijk betekent voor hun detaillering en wat het betekent voor de manier van samenwerken met klanten en andere ketenpartijen.

Het is dus belangrijk dat zoveel mogelijk praktijk voorbeelden van betonkernactivering nieuwe stijl in Nederland geïdentificeerd en beschreven worden en gemonitord worden door onafhankelijke partijen en dat de lessen die uit die monitoring getrokken worden, breed gedeeld worden. Bijvoorbeeld via de cursussen van de betonvereniging.

Onderwijsmateriaal

Om te zorgen dat voor toekomstige generaties de manier van werken, die nodig is voor het optimaal toepassen van betonkernactivering, gemeengoed is, is een goede inbedding van deze kennis bij de verschillende opleidingen in de bouw nodig.

Bij MBO-opleidingen zal de nadruk moeten liggen op de benodigde afstemming en technische kwaliteit van het werk, terwijl bij de HBO's zowel inzicht in en reflectie op de concepten, de benodigde analytische vaardigheden en samenwerking met andere disciplines getraind moeten worden.

Op dit moment zijn veel opleidingen bezig om aan de hand van praktijk-casussen dit soort vaardigheden te trainen en staan ze daarom open voor samenwerking met partijen uit het bedrijfsleven.

Hierbij is het wel belangrijk dat bij de ontwikkeling van de casus goed voor ogen gehouden wordt welke vaardigheden belangrijk zijn voor het komen tot de juiste oplossingen.

Voorbeelden van een set leerdoelen voor HTS- en/of TU-studenten voor een 'betonkernactivering nieuwe stijl casus' zijn:

- STAR uitwerken van de casus, dat wil zeggen dat ze zelfstandig in staat zijn om een (deel)project op te delen in taken, die taken uit te werken en op de resultaten te reflecteren en lessen te trekken voor een volgend project.



- Analytische en probleemoplossende vaardigheden om de warmte en koeltevraag in relatie tot de constructie en de energie installaties integraal op te lossen.
- Communiceren met mensen van andere disciplines om gezamenlijk tot de meest optimale oplossing te komen.

Vanaf 2016 zou voldoende voorbeelden uit de praktijk beschikbaar moeten zijn om op basis hiervan voor 2017 een casus voor studenten te kunnen ontwikkelen.

7.7 Conclusies

Het handelingsperspectief richt zich op de optimale integratie van constructie en installaties. Hierdoor kan de warmtecapaciteit van beton optimaal gebruikt worden in de energievoorziening van een gebouw, waardoor het betreffende gebouw zeer energie efficiënt is zonder meer te hoeven kosten.

De belangrijkste belemmeringen voor toepassing zijn de volgende aspecten:

- Er zijn wel ontwerpmodellen voor BKA in Nederland beschikbaar, maar die zijn complex c.q. gebruiksonvriendelijk en bieden niet de mogelijkheid van een quick scan (komt BKA in aanmerking voor een bouwontwerp?).
- Er is weinig feedback tussen adviseurs/ontwerpers en gebouwgebruikers t.a.v. het energiegebruik (kosten) en het comfort van BKA.
- Er is niet veel bekend inzake de betrouwbaarheid van BKA (is er een gap tussen het ontwerp en de gebruikservaringen) en er zijn (te) weinig lichtende voorbeelden bekend. Dit werpt een drempel op voor de toepassing van BKA.
- Ontbreken van commitment in de ontwerpfase voor BKA.



8 Innovatieve betonrecycling-technologie

Dit hoofdstuk gaat in op handelingsperspectief 6: Innovatieve betonrecycling-technologie. Na een korte introductie (Paragraaf 8.1), komen de potentie voor het verminderen van de milieu-impact (Paragraaf 8.2), de benodigde kennisontwikkeling (Paragraaf 8.3), kansen en belemmeringen (Paragraaf 8.4) aan bod. Vervolgens wordt ingegaan op de business case (Paragraaf 8.5) en wordt een plan van aanpak opgesteld (Paragraaf 8.6). Tot slot worden de belangrijkste inzichten voor dit handelingsperspectief samengevat (Paragraaf 8.7).

8.1 Introductie

Het handelingsperspectief innovatieve betonrecycling richt zich op de ontwikkeling en introductie van technologieën die het terugwinnen van de fracties toeslagmaterialen (met name zand en grind), en het terugwinnen van het cementsteen mogelijk maken op een dergelijke manier dat deze stoffen geschikt zijn voor hergebruik als grondstof voor beton en cement.

De huidige methode van betonrecycling laat zich omschrijven als een drie stap proces:

1. Voorbreken (grote stukken beton klein maken tot maximaal 150 mm).
2. Breken van beton (breken van beton tot stukken van maximaal 40 mm).
3. Zeven naar grove en fijne fracties.

Hierbij worden gewoonlijk de volgende fracties aangehouden:

- Grove fractie 4/40, deze fractie bestaat uit betongranulaat, alle deeltjes groter dan 4 mm en kleiner dan 40 mm. Er bestaan verdere graderingen zoals 4/16 en 4/32.
- Fijne fractie 0/4 mm, dat wil zeggen kleiner dan 4 mm, deze fractie bestaat voornamelijk uit zand en cementsteen en wordt ook wel het brekerzand genoemd. Ook deze fractie kan verder opgedeeld worden in kleiner dan 0,125 mm en kleiner dan 60 micrometer.

De massaverdeling over de grove en de fijne fractie is ongeveer gelijk (50/50). In de huidige situatie wordt het gerecyclede beton, grotendeels integraal (fijne en grove fractie samen) gebruikt als funderingsmateriaal voor wegen. Een klein gedeelte van de grove fractie wordt als betongranulaat ingezet ter vervanging van primair toeslagmateriaal (met name grind). De fijne fractie (het brekerzand) kan momenteel niet ingezet worden als grondstof voor beton doordat korrelopbouw en samenstelling niet voldoen aan de in de toeslagmateriaalnormen gestelde eisen.

Uitgangspunt van dit handelingsperspectief is dat op termijn de vraag naar gerecyclede beton in GWW toepassingen afneemt en dat bij toepassing van betongranulaat als grondstof voor nieuw beton een significante fijne fractie overblijft, die de business case sterk negatief beïnvloedt.

Daarom wordt gezocht naar innovatieve betonrecyclingtechnologie die het gerecyclede beton integraal inzet, zodat de economische haalbaarheid verbeterd. Daardoor kan een grotere stap gezet worden met de inzet van uit gebruikt beton teruggewonnen materialen bij de productie van nieuw beton.



Indien het productieproces van betonrecycling kan worden verbeterd ten aanzien van het vrijmaken van de uitgangsmaterialen dan is de fijne fractie beter toepasbaar als grondstof.

Om dit mogelijk te maken wordt gewerkt aan een aantal alternatieven die zich laten omschrijven als:

1. Voorbreken (grote stukken beton klein maken tot maximaal 150 mm).
2. Losmaken cementsteen van toeslagmaterialen.
3. Scheiden van toeslagmaterialen, cementsteen, verontreinigingen.

Op basis van deze uitgangspunten wordt beredeneerd dat recycling van beton waarbij alle teruggewonnen fracties weer ingezet kunnen worden, gewenst is en dat er daarom behoefte is aan methodes die toeslagmaterialen en cementsteen geschikt voor hergebruik uit het beton terugwinnen. Vooral het terugwinnen van cementsteen uit de fijne fractie vormt hierbij een uitdaging.

8.2 Potentie voor vermindering milieu-impact

Zodra het lukt om fracties toeslagmaterialen en cementsteen geschikt voor gebruik als circulaire grondstof voor beton en cement terug te winnen, maakt dat de volgende toepassingen mogelijk:

1. Gebruik van het teruggewonnen toeslagmateriaal als vervanging van primair toeslagmateriaal (circulair grondstofgebruik).
2. Gebruik van teruggewonnen cementsteen (direct of na dehydratatie)
 - a als grondstof in cement (als hoofd- of nevenbestanddeel) of
 - b als vulstof met bindmiddelfunctie in beton.
3. Gebruik van teruggewonnen cementsteen als carbonaatarme grondstof voor de productie van CSA-B-klinker of Portlandcementklinker of de smelt van innovatief geopolymer.

Circulair grondstofgebruik

De huidige manier van beton recycling hangt samen met de huidige vraag¹³ naar gerecycled beton voor GWW toepassingen. Zoals aangegeven in de inleiding is de verwachting is dat de vraag vanuit de GWW in de komende jaren sterk afneemt door de volgende ontwikkelingen:

- er worden geen nieuwe Vinex-wijken meer gepland;
- het aantal nieuwe bedrijfsterreinen in green field neemt af;
- als de snelwegen die nu in voorbereiding zijn gerealiseerd zijn komen er nauwelijks nieuwe wegen meer bij;
- bij onderhoud van bestaande wegen wordt vaak het bestaande funderingsmateriaal opnieuw gebruikt en niet vervangen, hoogstens aangevuld met vers funderingsmateriaal.

Als de vraag naar integraal gebruik van betongranulaat als funderingsmateriaal inderdaad afneemt is de verwachting dat met name het brekerzand moeilijk afzetbaar zal zijn (0-4 fractie). Aangezien dit bijna de helft van het betonpuin betreft is een alternatieve methode die wel een integrale toepassing van het gerecyclede beton mogelijk maakt wenselijk.

¹³ In de huidige situatie komt 10-12 miljoen steenachtige bouw- en sloopafval vrij (voorheen was dat 20 miljoen ton per jaar).



Innovatieve betonrecyclingsmethodes zijn daarom gericht op het lokaal vrijmaken van grondstoffen voor cement en betonproductie uit betonpuin, op een dergelijke manier dat deze teruggewonnen materialen geschikt zijn voor hergebruik. Dat heeft de volgende voordelen.

Als uit betonpuin toeslagmateriaal dat geschikt is voor hergebruik teruggewonnen kan worden en als dit teruggewonnen toeslagmateriaal ingezet wordt dicht bij de plaats waar het betonpuin vrijkomt, kan dit het aantal vervoerskilometers dat nodig is voor het produceren van beton verkleinen. Gezien de massa van de toeslagmaterialen kan uitsparing van vervoer een significant effect hebben. Het gaat hierbij zowel om teruggewonnen zand als teruggewonnen grind.

Op basis van testen met teruggewonnen toeslagmateriaal (ACI, 1996; Lofti, et al., 2014; vergelijk ook Florea, 2014;) is de verwachting dat het gerecyclede beton een snellere sterkte ontwikkeling laat zien, waardoor nieuwe recepten commerciële en milieuvordelen biedt, omdat voor dezelfde sterkte-ontwikkeling er minder cement nodig is. Er zijn op dit moment nog weinig gegevens voorhanden om voor iedere betontoepassing te kunnen berekenen wat het effect van het gebruik van innovatief teruggewonnen toeslagmaterialen is op de hoeveelheid cement, de technische duurzaamheid en de verwerkbaarheid van het beton. Er wordt op dit moment onderzoek gedaan hoe dit beter voorspeld kan worden.

De testen laten wel zien dat voor de situaties waarin de testen uitgevoerd zijn de verschillen in sterkte ontwikkeling groot zijn. Als aangetoond kan worden dat dit effect in een brede range van betonsamenstellingen optreedt dan betekent dit dat het gebruik van innovatief teruggewonnen toeslagmateriaal aanzienlijke CO₂-emissiereducties mogelijk maakt.

Teruggewonnen cementsteen als hoofd- of nevenbestanddeel van cement

Bij het terugwinnen van cementsteen uit betonpuin kan gedacht worden aan inzet als hoofd of nevenbestanddeel van het cement.

- Nevenbestanddeel in cement:
De Europese cementnorm NEN-EN 197-1 [12] laat de mogelijkheid <5% bestanddelen toe te voegen in het productieproces van cement zonder dat deze de prestaties van het cement beïnvloeden. Mits aan die voorwaarde wordt voldaan zou de fijne fractie die vrijkomt bij recycling daarvoor in aanmerking kunnen komen.
- Hoofdbestanddeel in cement:
Materialen beschreven als Type I en II vulstof in beton kunnen ook worden toegepast als hoofdbestanddeel in cement. Als het teruggewonnen cementsteen aan strikte voorwaarden kan voldoen zou dit ook een geschikte mogelijkheid voor toepassing kunnen zijn. Hier dient bij te worden opgemerkt dat de huidige regelgeving deze mogelijkheid nog niet toelaat.

Zolang het gebruik van cementsteen in cement alleen leidt tot verdringing van vliegglas, is er geen sprake van CO₂-emissiereductie, het is wel van belang voor de business case van circulair betongebruik.

Teruggewonnen cementsteen als vulstof in beton

Bij het terugwinnen van cementsteen uit betonpuin kan gedacht worden aan inzet als fijne vulstof in beton. Daarbij dient de vulstof te voldoen aan eisen gesteld NEN EN 12620 [8].



Dit kan als inerte vulstof (Type I). Dit type vulstoffen wordt voornamelijk toegevoegd aan beton om de stabiliteit van beton te kunnen verhogen. Kritisch is dan de fijnheid c.q. korrelverdeling van de vulstof en met name de stabiliteit/variëaties in de fijnheid c.q. korrelverdeling. Dit vraagt veel van het beton dat wordt gerecycled en ook veel van de productie installatie. De bijdrage aan de CO₂-reductie is dan een bijdrage aan de in Hoofdstuk 5 verder uitgewerkte korrelpakking optimalisatie.

Of als vulstof met bindmiddelfunctie (Type II). Er zijn aanwijzingen dat de inzet van cementsteen als vulstof met bindmiddelfunctie direct in het beton kan leiden tot een lagere cement behoefte bij gelijkblijvende sterkte (Florea, 2014; Florea en Brouwers, 2013).

Het werkingsprincipe achter de bindende eigenschappen van cementsteen zijn nog niet opgehelderd. Als mogelijke werkingsprincipes worden de volgende zaken genoemd:

- in alle beton zit ongehydrateerd cement, dit ongehydrateerde cement kan in principe weer hergebruikt worden;
- activiteit van het gehydrateerde cementsteen al dan niet na thermische behandeling.

Op dit moment wordt in Nederland grootschalig vliegashoudend cement van kolengestookte elektriciteitscentrales ingezet als grondstof voor cement en als vulstof met bindmiddelfunctie (puzzolaan) in beton. Hoogovenslak is een grondstof voor cement met latent hydraulische eigenschappen. In aanwezigheid van een activator (verhogen van de pH) worden deze eigenschappen geactiveerd. Het is nog niet helemaal duidelijk hoe cementsteen zich tot die vulstoffen verhoudt. Onderzoek zal dit moeten aantonen.

Zolang het gebruik van cementsteen als vulstof alleen leidt tot verdringing van bestaande vulstoffen is er geen sprake van CO₂-emissiereductie, tenzij er op die manier vervoerskilometers uitgespaard kunnen worden. Alleen als inzet van innovatief teruggewonnen en gereactiveerd cementsteen leidt tot minder gebruik van Portlandklinkercement is er sprake van een significante CO₂-emissiereductie door uitsparing van de productie van Portlandcementklinker.

Teruggewonnen cementsteen als grondstof voor klinkerproductie

Belangrijkste grondstof voor een cementoven is natuurlijke kalksteen. In het ovenproces wordt de kalksteen gecalcineerd waarbij CO₂ wordt afgesplitst. Dientengevolge dragen cementovens aanzienlijk bij aan het broeikaseffect. Een alternatieve grondstof die veel calcium bevat maar waarbij geen CO₂ wordt afgesplitst zou een grote milieubijdrage kunnen leveren.

In principe zijn in cementsteen alle elementen aanwezig, die noodzakelijk zijn voor de productie van Portlandcementklinker, CSA-B-klinker of de smelt van innovatief geopolymeer. De verhoudingen zijn echter niet optimaal omdat bij de productie van het cement behalve Portlandklinker ook andere stoffen zijn toegevoegd, zoals gips, vliegashoudend cement en/of hoogovenslak.

Cementsteen kan wel gebruikt worden als een element in de mix die in de oven gebracht wordt om Portlandcementklinker, CSA-B-cementklinker, of de smelt van geopolymeer te produceren. Hoe groot het aandeel van de cementsteen in deze mix kan zijn is sterk afhankelijk van de samenstelling waarin het cementsteen opgeleverd wordt. Hierbij is de aanwezigheid van elementen als silicium en zwavel erg belangrijk, maar daarnaast is er nog een aantal andere factoren waarmee rekening gehouden moet worden. Cementchemici hebben rekenpakketten om de optimale verhouding van



mogelijke grondstoffen te kunnen berekenen en zo te bepalen hoeveel van een bepaalde reststroom ingezet kan worden. Onderzoek laat zien dat CSA-B-cement minder gevoelig is voor de aanwezigheid van zwavel en aluminium. Hierdoor kan bij de productie van CSA-B-cementklinker een groter aandeel cementsteen als grondstof gebruikt worden.

8.3 Benodigd onderzoek

Er zijn een aantal aspecten, die verder uitgezocht moeten worden voordat deze technologie op grote schaal toegepast kan worden:

1. Ontwikkelen van scheidingstechnologie voor het terugwinnen van cementsteen, zodat het geschikt is:
 - a als vulstof in beton al dan niet met bindmiddel functie;
 - b als grondstof direct in cement
 - c als grondstof voor Portlandcementklinker, CSA-B-cementklinker of de smelt van innovatief geopolymeer.En demonstratie van deze scheidingstechnologie op industriële schaal.
2. Ontwikkelen van technieken om gerecyclede producten inline¹⁴ te karakteriseren voor specifieke toepassingen.
3. Bepalen van het effect van toeslagmaterialen op de sterkteontwikkeling, verwerkbaarheid en technische duurzaamheid van beton voor de meest gebruikte betonsamenstellingen.

Ontwikkelen van scheidingstechnologie

Er zijn verschillende technologieën in ontwikkeling voor het terugwinnen van toeslagmaterialen en cementsteen.

Voor deze technologieën zijn pilot opstellingen beschikbaar die de verschillende fracties vrijmaakt, maar nog geen scheidingsstap om de cementsteen geschikt en vrij van verontreinigingen terug te winnen uit de fines fractie.

Deze scheidingsstappen zijn in ontwikkeling. Echter op dit moment bestaat er onduidelijkheid bij de ontwerpers welke combinatie van eigenschappen en economische waarden horen bij de mogelijke toepassingen van cementsteen. Deze eisen variëren met de volgende aspecten:

- de verschillende toepassingen van cementsteen;
- de eisen van de samenstelling variëren ook met het aandeel cementsteen dat toegepast wordt als vulstof of als ovenvoedingsstof.

Daarom is nauwe samenwerking tussen de ontwikkelaars van deze scheidingstechnologie en technici bij de potentiële afnemers nodig.

Nadat deze technologie op pilot schaal is bewezen, moet natuurlijk productie op industriële schaal laten zien dat het ook in de praktijk werkt.

Ontwikkelen van technieken om inline gerecycled beton fracties te karakteriseren voor specifieke toepassingen.

Het gaat hierbij om twee soorten testen:

1. Inline testen van de kwaliteit en samenstelling.
2. Inline testen van de vochtname.

¹⁴ Inline testen zijn testen die tijdens het productieproces real-time aangegeven wat de kwaliteit is.



Inline testen van de kwaliteit en samenstelling van de gerecyclede beton fracties zijn nodig omdat de kwaliteit en samenstelling van het betonpuin sterk wisselt, terwijl de kwaliteitsconsistentie van de eindproducten die op basis van teruggewonnen materiaal geproduceerd worden hoog moet zijn. Om te kunnen bepalen of cementsteen meer potentie heeft als vulstof met bindmiddelfunctie of als ovenvoeding, is het bijvoorbeeld belangrijk om te weten hoe hoog het aandeel cementsteen is in de teruggewonnen fractie cementsteen en uit welke bestanddelen de rest van de fractie bestaat. Als de cementsteen fractie hoog genoeg is en de aanwezigheid van potentiële storende elementen voldoende laag is, is het van belang om de kwaliteit van het teruggewonnen cementsteen te kunnen bepalen. Bijvoorbeeld wat de mate van hydratatie is van het cementsteen. Wat er getest moet worden en welke testen hiervoor geschikt zijn moet nog uitgezocht worden.

Het inline testen van de vochtopname van de verschillende gerecyclede betonfracties is nodig omdat met name voor de fijne fractie de bestaande testen niet altijd de juiste waarde aangeven.

Dit komt omdat ze ontwikkeld zijn voor primair toeslagmateriaal. Primair toeslagmateriaal heeft een vrij constante vochtopname. Zo is de vochtopname door riviergrind altijd rond de twee procent. Bij teruggewonnen toeslagmaterialen (met name de fijne fractie) zijn de variaties die op kunnen treden in de vochtopname veel groter. Daarom is het moeilijker om te bepalen wat de water behoefte is. De juiste inschatting van de vochtopname is belangrijk, omdat dat bepaald hoeveel water er nodig is om tot de optimale verwerkbaarheid van het beton te komen. Hiervoor is nu dus nog geen snelle test beschikbaar. De ontwikkeling van een snelle test is een belangrijke voorwaarde voor grootschalige toepassing van teruggewonnen toeslagmateriaal¹⁵.

Effect van teruggewonnen toeslagmaterialen op betonprestaties

Op kleine schaal is onderzoek gedaan naar de technische prestaties van beton en mortel vervaardigd uit innovatief gerecyclede toeslagmaterialen. Dergelijk beton laat een snellere sterkte ontwikkeling zien (ACI, 1996; Lofti, 2014; Florea, 2014). Dit is opmerkelijk omdat gewoonlijk het toeslagmateriaal als inert materiaal gezien wordt, dat de sterkte ontwikkeling van het beton niet beïnvloedt.

Hiervoor is nog geen verklaring gepresenteerd. Een mogelijke verklaring is dat op het teruggewonnen materiaal nog een zeer dun laagje cementsteen aanwezig is, net genoeg om de binding tussen het toeslagmateriaal en het cement te vergemakkelijken.

Wat de verklaring ook is, de randvoorwaarden waarbinnen het bovengenoemde effect op de prestaties van beton optreden, zal aangetoond moeten worden, zodat het mogelijk is om te berekenen hoeveel cement nodig is bij toepassing van teruggewonnen toeslagmateriaal. Daarnaast moet aangetoond worden wat de aanpassing van de betonsamenstelling betekent voor de technische duurzaamheid en de verwerkbaarheid van het beton. Vervolgens zullen deze berekeningen getest moeten worden door praktijkproeven.

Kortom de eerste resultaten zijn veel belovend, maar er moet nog wel wat onderzoek gebeuren.

¹⁵ De bestaande methoden zoals beschreven bij betonlexicon.nl/A/Absorptiewater werken niet.



8.4 Kansen en belemmeringen

De kansen en belemmeringen kunnen als volgt samengevat worden:

Effect van teruggewonnen toeslagmaterialen op de betonprestaties

Kans Door gebruik van teruggewonnen toeslagmaterialen is een snellere sterkte ontwikkeling mogelijk waardoor in sommige gevallen dezelfde beton kwaliteit geleverd kan worden met minder cement en dus met een lagere CO₂-footprint. Dit zorgt ervoor dat zowel bedrijven (vooral aannemers en betonwaren leveranciers) en overheidsorganisaties geïnteresseerd zijn in de verdere ontwikkeling van deze technologie en het uitvoeren van het benodigde onderzoek, om te zien wat het potentieel in de praktijk is.

Belemmering Er is nog veel onduidelijkheid over de randvoorwaarden die bepalen of dit effect optreedt en welke effecten aanpassing van de betonsamenstelling aan deze sterkteontwikkeling heeft op de technische duurzaamheid van het beton. Hiervoor is verder onderzoek noodzakelijk (dit is dan ook onderdeel van de onderzoeksprogramma's C2CA en Hiser).

Circulair gebruik van beton

Kans Innovatieve technologieën die integraal hergebruik van gerecycled beton als grondstof voor nieuw beton mogelijk maken, verbeteren de business case van hergebruik van betonpuin als grondstof voor beton.

Belemmering Er is geen tekort aan zand en grind. Er is wel een maatschappelijk debat over de wenselijkheid van waar en wanneer er afgegraven wordt. Nederland kiest ervoor om de winning van zand en grind zoveel mogelijk te combineren met maatschappelijke doelen zoals hoogwaterbescherming en natuurontwikkeling. Een voorbeeld hiervan is het Grensmaas-project. Doordat de bouw door een economisch dal gaat is de vraag naar beton, en daarmee rivierzand en grind op een historisch laag niveau. Het gevolg is dat er sprake is van een overschot aan primaire toeslagmaterialen voor beton en een zeer lage marktprijs (onder de kostprijs van recycling). Deze situatie met lage prijzen voor primair materiaal houdt naar verwachting nog een aantal jaar aan want bijvoorbeeld de einddatum van het Grensmaas-project is door deze lagere marktprijs verschoven van 2018 naar 2022.

Feiten over vraag en aanbod

Belemmering Op dit moment is er geen feitelijke basis om een discussie over noodzaak van innovatieve betonrecyclingtechnologie te kunnen voeren. De realiteitszin van de bestaande prognoses wordt al dan niet onderbouwt in twijfel getrokken. Het is daarom van belang om betere prognoses te hebben.

Het gaat hierbij om de ontwikkeling van:

- Het aanbod aan gerecycled beton.
- De vraag naar :
 - toeslagmaterialen;
 - vulstoffen in beton met bindmiddelfunctie;
 - cementsteen als grondstof in cement;
 - voeding voor de oven voor de productie van Portlandcementklinker, CSA-B-cementklinker of de smelt van innovatief geopolymeer.

Hoogwaardige toepassing van fijne materialen

Belemmering Voor toepassing van fines als vulstof in beton en/of als hoofdbestanddeel in cement is momenteel geen regelgeving beschikbaar. Daarnaast is de beschikbaarheid van vulstoffen met bindmiddelfunctie in Nederland hoog, doordat enerzijds de hoogovenslak en anderzijds het vliegias van kolencentrales als zodanig ingezet worden. De verwachting is dat de



beschikbaarheid van deze grondstoffen ruim na 2020 zal blijven bestaan (ondanks de klimaatdoelstellingen).

Ook de beschikbaarheid van ovenvoeding is groot, de meeste Europese cementproducenten hebben hun eigen groeves en langjarige licenties om die groeves te exploiteren. Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar een groot aantal industriële reststromen als mogelijke voeding (HeidelbergCement, 2013).

Kans Voor de fijne fracties die vrijkomen bij recycling van beton is momenteel geen hoogwaardige toepassing in beton en/of cement mogelijk. Realisatie van een innovatieve recyclingtechnologie kan dit bewerkstelligen.

Verbeteren inline monitoren van verwerkbaarheid gerecyclede beton

Belemmering Primair toeslagmateriaal heeft een vrij constante vochtopname. Bij teruggewonnen toeslagmaterialen (met name de fijne fractie) kan de wateropname sterk verschillen. Hierdoor zijn de bestaande testen die afdoende werken voor primair toeslagmateriaal niet geschikt. Het ontbreken van een snelle test vormt een belemmering voor grootschalige toepassing van innovatief teruggewonnen toeslagmateriaal.

Geen cultuur om samen aan kennisontwikkeling te werken

Belemmering De kennis om deze technologie een niveau verder te brengen is verspreid over verschillende personen en organisaties, die nauwelijks van elkaars kennis op de hoogte zijn. Daarnaast is er geen cultuur om gezamenlijk aan ontwikkeling van een nieuwe technologie te werken. In plaats van mogelijke toeleveranciers uit te nodigen en gezamenlijk mogelijkheden te verkennen om potentiële grondstofstromen zover te verbeteren dat ze een goed alternatief voor de huidige grondstofstromen zouden kunnen vormen is er vooral sprake van strenge controle aan de poort en het afwijzen op huidige gebreken.

Kans De opleidingen voor de bouw in het middelbare, hoger en universitair onderwijs zoeken naar praktijk cases waarmee zij leerlingen/studenten kennis kunnen laten maken met alle aspecten van duurzaam bouwen. Verbetering van de samenwerking tussen de bedrijven in de betonsector en deze onderwijsinstellingen biedt mogelijkheden om deze kennisversnippering bij de volgende generatie te beperken. Daarnaast is er de mogelijkheid om via Europese projecten (Hiser) te werken aan gezamenlijk onderzoek waarin ervaring opgedaan kan worden met deze bedrijf overschrijdende samenwerking.

8.5 Business case

Ook bij de business case kan onderscheid gemaakt worden in de volgende toepassingen:

1. Toeslagmaterialen.
2. Vulstof in beton met bindmiddelfunctie.
3. Grondstof in cement.
4. Voeding voor de oven voor de productie van Portlandcementklinker, CSA-B-cementklinker en de smelt van innovatief geopolymer.

Toeslagmaterialen

De volgende aspecten zijn bepalend voor de business case van toeslagmaterialen:

1. De hoeveelheid cement die uitgespaard wordt op een project door gebruik te maken van innovatief teruggewonnen toeslagmaterialen in plaats van primaire toeslagmaterialen.



2. De beschikbaarheid van inline test om de vochtopname door toeslagmaterialen te bepalen.
3. Het prijsverschil tussen teruggewonnen toeslagmaterialen en primaire toeslagmaterialen.

De eerste twee aspecten zullen moeten blijken uit onderzoek dat inmiddels is ingezet (C2CA, Hiser).

Het derde aspect is een gevolg van de beperkte vraag naar toeslagmaterialen op de huidige markt. Daarnaast fluctueert de prijs van primair toeslagmateriaal op dit moment veel sterker dan de prijs van secundair toeslagmateriaal omdat het bijproduct is van ruimte voor de rivier projecten. Als de vraag naar toeslagmateriaal stijgt, is het waarschijnlijk dat dit verschil afneemt, tenzij de vraag naar secundair toeslagmateriaal harder stijgt dan de snelheid waarmee circulaire productiecapaciteit opgebouwd kan worden voor het terugwinnen van toeslagmateriaal.

Op basis van de beschikbare situatie is nog niet vast te stellen of deze business case positief is. Wat wel vastgesteld kan worden is dat er veel partijen voldoende kansen zien om in het benodigde onderzoek te investeren.

Als inderdaad bevestigd kan worden dat het gebruik van innovatief teruggewonnen toeslagmaterialen leidt tot een significant gunstigere betonprestaties, dan is het wel zeer waarschijnlijk dat de business case positief is en de verlaging van de CO₂-footprint van het beton significant is.

Gebruik van cementsteen fractie als grondstof voor cement

Het voordeel van deze toepassing is dat de cementsteenfractie die teruggewonnen is uit het betonpuin lokaal ingezet kan worden. Zoals aangegeven kan hierbij onderscheid gemaakt worden tussen gebruik als hoofd en nevenbestanddeel van cement.

- Nevenbestanddeel in cement:
De Europese cementnorm NEN-EN 197-1 [12] laat de mogelijkheid <5% bestanddelen toe te voegen in het productieproces van cement zonder dat deze de prestaties van het cement beïnvloeden. Mits aan die voorwaarde wordt voldaan zou de fijne fractie die vrijkomt bij recycling daarvoor in aanmerking kunnen komen. Het voordeel is dat het aandeel van de fijne fractie dat gebruikt kan worden in de betonproductie toeneemt. Echter, de economische waardering voor deze toepassing is zeer laag.
- Hoofdbestanddeel in cement:
Materialen beschreven als Type I en II vulstof in beton kunnen ook worden toegepast als hoofdbestanddeel in cement. Als het teruggewonnen cementsteen aan strikte voorwaarden kan voldoen zou dit ook een geschikte mogelijkheid voor toepassing kunnen zijn. Hier dient bij te worden opgemerkt dat de huidige regelgeving deze mogelijkheid nog niet toelaat. Op dit moment is nog onduidelijk voor de betonrecycling-technologie ontwikkelaars in welke mate de prijs voor de fijne fractie kan variëren door optimalisatie van kwaliteit en samenstelling van de cementsteenfractie. Daarnaast is het niet helemaal duidelijk welke kwaliteit en samenstelling optimaal is voor de toepassing als hoofdbestanddeel in cement.



Vulstof met bindmiddel functie in beton

De business case voor cementsteen als vulstof met bindmiddelfunctie is sterk afhankelijk van hoe het cementsteen presteert in vergelijking met de in Nederland veel gebruikte vulstoffen vliegas en hoogovenslak en of het cementsteen eigenschappen biedt die de werking van één van de andere vulstoffen versterkt. Daarbij is het belangrijk dat er een test beschikbaar komt die de kwaliteit van het cementsteen voor de beoogde toepassing vaststelt. Op dit moment is nog te weinig bekend over de performance van het cementsteen als vulstof met bindmiddelfunctie en de kosten die gemaakt moeten worden om het cementsteen terug te winnen om iets te kunnen zeggen over deze business case.

Voeding voor de oven voor de productie van klinker

Cementsteen kan ingezet worden als bijvoorbeeld een kalkbron bij de productie van Portlandcementklinker, CSA-B-klinker of de smelt van innovatief geopolymer. In deze toepassing moet het cementsteen vervoerd worden naar een cementfabriek voor verdere verwerking. Aangezien cementfabrieken over het algemeen naast kalksteengroeves staan is hier sprake van een significant extra vervoerskilometers. De business case voor het recyclen van cementsteen wordt dus sterk bepaald door de kosten van het vervoer naar de cementfabriek en de prijs die de cementfabriek voor het cementsteen wil betalen. Gezien de prijzen van de overige grondstoffen is de verwachting dat de prijs die de cementfabriek over heeft voor het cementsteen vrij laag zal zijn. Mogelijk verandert dit als binnen het emissiehandelssysteem weer hogere prijzen voor CO₂-certificaten geboden worden.

8.6 Conclusies

Het handelingsperspectief Innovatieve betonrecycling-technologie richt zich op het ontwikkelen van technologie om toeslagmaterialen en cementsteen terug te winnen uit betonpuin op een dussdanige manier dat het gerecyclede beton integraal inzetbaar is als hoogwaardige grondstof voor cement en betonproductie.

De belangrijkste belemmering voor deze ontwikkeling is de zeer beperkte marktvraag naar circulair beton met een lage CO₂-footprint.

De belangrijkste kansen van deze ontwikkeling, zijn:

Mogelijkheid dat de betonprestaties verbeteren door toepassing van innovatief teruggewonnen toeslagmaterialen. Als op industriële schaal bevestigd kan worden dat deze aanpak inderdaad leidt tot significant gunstigere prestaties van beton, dan is het zeer waarschijnlijk dat de business-case positief is en de verlaging van de CO₂-footprint van het beton significant is.

Er is sprake van een verbeterde business case voor circulair betongebruik in vergelijking met de huidige betonrecyclingstechnologie als alle teruggewonnen betonfracties inderdaad ingezet kunnen worden bij de productie van nieuw beton. Zo wordt naast hergebruik van de toeslagmaterialen ook onderzoek gedaan naar verschillende toepassingen voor teruggewonnen cementsteen fracties. De verschillende toepassingen zijn direct als neven of hoofdbestanddeel in cement, als vulstof al dan niet met bindmiddelfunctie in beton of als carbonaatarme ovenvoeding voor de productie van Portlandcementklinker, CSA-B-klinker of de smelt voor innovatief geopolymer.



Echter, voordat uitspraken gedaan kunnen worden wat dit betekent voor het CO₂-besparingspotentieel is er nader onderzoek nodig naar de volgende drie aspecten:

- onder welke randvoorwaarden integrale inzet van alle gerecyclede beton fracties dit mogelijk is;
- onder welke randvoorwaarden inzet van teruggewonnen toeslagmaterialen kan leiden tot betere betonprestaties;
- wat dit betekent voor de technische duurzaamheid en de verwerkbaarheid van het beton.



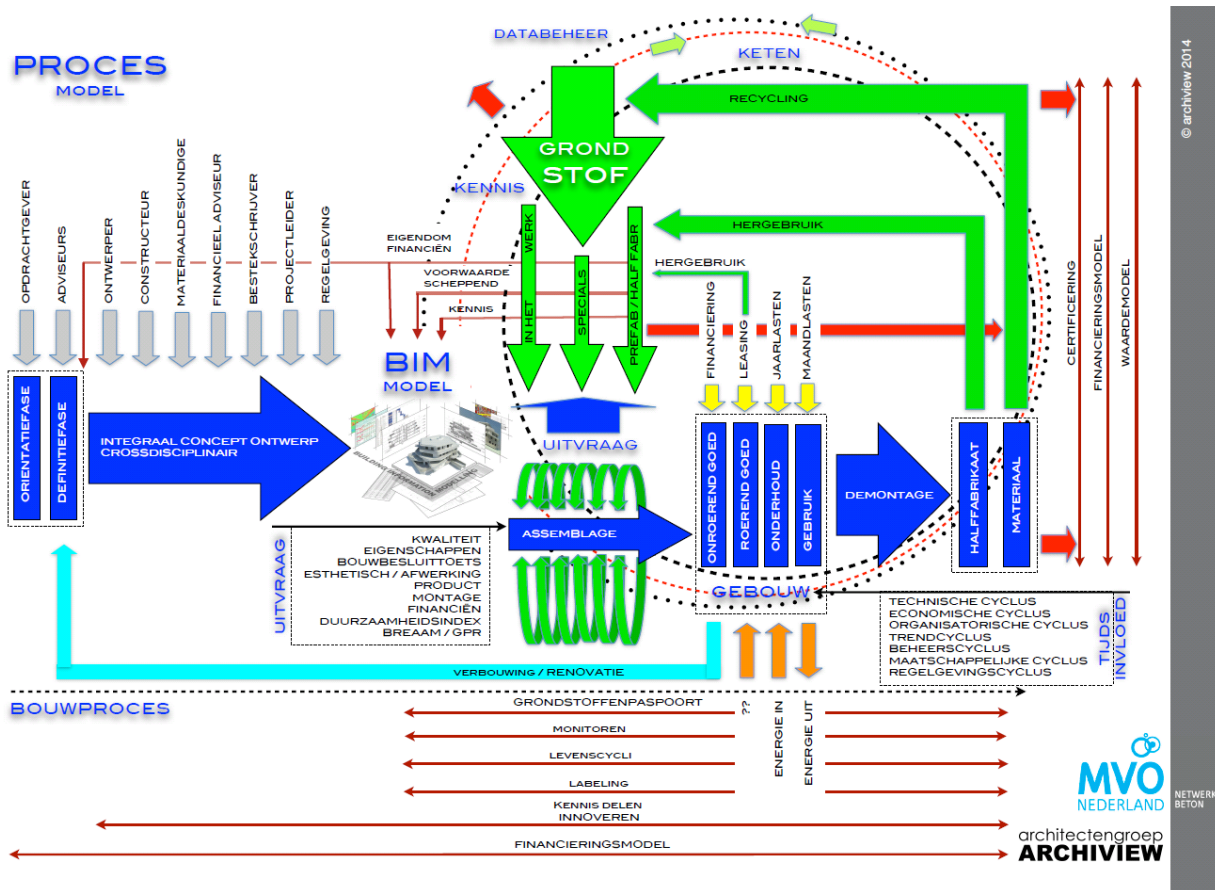


9 Circulaire economie

Het handelingsperspectief circulaire economie richt zich op het totaal van ontwerp, productie, onderhoud, gebruik, hergebruik en logistiek, inclusief eigendomsverhoudingen, om direct toegang te houden tot de grondstoffen. Een aanzet om de circulaire economie van betongebruik in kaart te brengen is weergegeven in Figuur 3.

De circulaire economie is een economisch systeem dat bedoeld is om herbruikbaarheid van grondstoffen, producten en menselijke talenten te maximaliseren en waarde vernietiging te minimaliseren. Anders dan in het huidige lineaire systeem, waarin grondstoffen worden omgezet in producten die na verbruik worden vernietigd en talenten die onnodig overbodig worden verklaard. Daarnaast heeft volgens de leden van de subwerkgroep de circulaire economie van beton sterk te maken met de performance economy waarbij de voorwaarden zijn dat de goederen of grondstoffen van vandaag de grondstofbanken van morgen zijn.

Figuur 3 Proces model circulaire (beton)economie



Bron: Architectenbureau Archiview.

Kansen om het beton te verduurzamen liggen hier met name op het vlak van het optimaal ontwerpen van cement en beton voor hergebruik.



Hierbij richt dit handelingsperspectief zich met name op het optimaal kunnen hergebruiken van materialen.

1. Door gebouwen en infrastructurele werken op een dussdanige manier te ontwerpen en detailleren dat de materialen en grondstoffen eenvoudiger te scheiden zijn.
2. Door het optimaliseren van de betonsamenstelling. Dat wil zeggen het ontwerpen van de cement en betonsamenstelling op een dergelijke manier dat oud beton geschikt is als grondstof voor nieuw beton. Het gaat hierbij om het gebruik van (secundaire) grondstoffen die het mogelijk maken het beton weer te defragmenteren tot bruikbare grondstoffen.

Verder is demontabel bouwen in de zin van modulair bouwen nog een manier om circulair met beton om te gaan.

In het vorige hoofdstuk ging het om methodes om bestaand beton op de optimale manier terug te brengen naar schone grondstoffracties. In dit hoofdstuk gaat het om het ontwerpen en bewaken van de samenstelling van het beton zodat de teruggewonnen fracties optimaal geschikt zijn als grondstof voor nieuw cement en beton.

9.1 Potentie voor vermindering milieu-impact

De vermindering van de milieu-impact bestaat uit twee hoofdaspecten:

- Het ontwikkelen van een manier van werken waarin grondstof efficiëntie en het terugwinnen van grondstoffen aan het eind van de levensduur van een toepassing centraal staan. Hiermee wordt op de lange termijn hoogwaardig en circulair gebruik van grondstoffen mogelijk gemaakt.
- Vermindering van de CO₂-footprint van het beton met name door een circulaire aanpak: kiezen van de voor de verschillende toepassingen geoptimaliseerde mengselsamenstellingen in combinatie met het gebruik van grondstoffen met een laag milieuprofiel, alsmede beperking van transportafstanden.

Efficiënt en/of circulair grondstofgebruik

Er zijn twee belangrijke argumenten om circulair grondstofgebruik te stimuleren.

Het eerste argument is de beschikbaarheid van primaire grondstoffen in Nederland op de lange termijn:

- Afgraving van mergel stopt in Nederland in 2018.
- Op de lange termijn (meer dan 40 jaar) is het denkbaar dat de beschikbaarheid van vliegias zeer beperkt is omdat het halen van de klimaatdoelstellingen vergt dat bijna alle kolencentrales gesloten worden.
- Primair zand en grind blijft door de rivieren aangevoerd worden en er is ook nog op zee beschikbaar, de vraag is of en onder welke omstandigheden afgraving wenselijk is.

Het tweede argument is dat beton een veel gebruikt materiaal is dat daarom ook in grote hoeveelheden vrijkomt. Het is daarom een verantwoordelijkheid voor de sector om daar een goede hoogwaardige toepassing voor te bieden. De belangrijkste toepassing van beton dat vrijkomt bij sloop is momenteel als funderingsmateriaal in de GWW. In deze toepassing wordt op het moment meer dan 80% van het betonpuin verwerkt. Zoals aangegeven in het vorige hoofdstuk neemt naar verwachting op termijn de vraag naar gerecycled beton als funderingsmateriaal af door verschuiving in de GWW-sector van aanleg naar onderhoud en beheer. Het ontwikkelen van manieren om dit beton naast de toepassing in de GWW in te kunnen zetten als hoogwaardige grondstof voor



nieuw beton is maatschappelijk gewenst en zorgt ervoor dat circulariteit van beton structureel verder kan worden ingevuld.

Verminderen van de CO₂-footprint door optimaliseren betonsamenstelling voor hergebruik

Ontwerpen van het cement en de betonsamenstelling op een dergelijke manier dat oud beton geschikt is als grondstof voor nieuw beton. Zoals aangegeven in het hoofdstuk over korrelepakking optimalisering en het hoofdstuk over innovatieve betonrecyclingtechnologie kunnen op deze manier significante CO₂-emissiereducties gerealiseerd worden.

Vermindering van de CO₂-footprint door gebruik te maken van lokaal beschikbare grondstoffen

Ontwerpen gericht op demontabel bouwen in de zin van modulair bouwen, zodat aan het eind van de levensduur het gebouw in delen uit elkaar gehaald kan worden en die delen opnieuw gebruikt kunnen worden (Lego principe). Onderzoek van hergebruik van bijvoorbeeld vloerdelen in bestaande gebouwen laat zien dat de CO₂-balans zeer gunstig, mits er niet meer transportbewegingen door veroorzaakt worden dan bij reguliere productie (Naber, 2012; Glias, 2013). Hierbij moeten twee kanttekeningen geplaatst worden. Enerzijds gaan deze studies uit van gebouwen die niet ontworpen zijn voor demontabel bouwen. Optimalisatie van het ontwerp zou hergebruik sterk kunnen vergemakkelijken en daardoor eventueel ook de CO₂-emissies die verbonden zijn aan demontage en opbouw verminderen. Anderzijds gaan deze studies uit van minimale transportafstanden voor de onderdelen die hergebruikt worden. Extra vervoerskilometers leiden tot extra CO₂-emissies. Of het hergebruik netto CO₂-emissies bespaart hangt af van de CO₂-emissie van het transport in vergelijking met sloop en nieuwbouw.

De totale CO₂-emissie over de levensduur voor de betonproductie van 2010 bedroeg 3.716 kton CO₂-equivalenten (CE Delft, 2013a)¹⁶. In totaal werd er in 2010 in Nederland naar schatting 13.908 kton beton geproduceerd. Hiermee komt de gemiddelde emissie van beton over de gehele levensduur en inclusief staal op 270 kg CO₂ per ton beton, exclusief staal is dit 240 kg CO₂ per ton beton. Emissies van vrachtwagens variëren tussen de 0,171 en 0,638 kg CO₂-equivalenten per ton beton die over één kilometer vervoerd wordt en bij binnenvaart schepen ligt de emissies nog veel lager op gemiddeld op 0,04kg CO₂-eq./ton.km, zie Tabel 3.

Tabel 3 CO₂-emissies over de levensduur van beton en CO₂-emissies door transport

Omschrijving	Waarde		Eenheid
CO ₂ -emissie over levensduur van beton		113	kg CO ₂ /ton beton
Stream, 2011:	> 20 ton	< 10 ton	
vervoer vrachtwagen	0,171	0,638	kg CO ₂ /ton.km
vervoer binnenvaartschip		0,04	kg CO ₂ /ton.km

Bron: CO₂-emissies over levensduur van bet beton (CE Delft, 2013a; peiljaar 2014), CO₂-emissies transport uit Stream update 2011 (CE Delft, 2011).

¹⁶ Dit is inclusief materiaalgebruik beton, materiaalgebruik staal, bouwwerkzaamheden, sloopactiviteiten, breekactiviteiten, herinzet granulaten, herinzet staal en transport.



Op basis van deze cijfers kan geconcludeerd worden dat transport per weinig efficiënt vrachtwagen minimaal 370 kilometer moet leggen om evenveel CO₂-emissie veroorzaakt als het sloop en nieuwbouw scenario en dat dit punt bij vervoer per binnenvaartschip pas bij een vervoersafstand van circa 6.000 kilometer bereikt wordt.

Lokaal hergebruik van beton modules biedt dus de mogelijkheid om CO₂-emissies te besparen.

Bij hergebruik van beton als grondstof voor nieuw beton is dit alleen van toepassing als daardoor de transportafstanden die nodig zijn voor het vervoer beperkt kunnen worden. Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat bij inzet van primaire grondstoffen op grote schaal gebruik gemaakt wordt van transport over water wat een zeer lage CO₂-emissie heeft vergeleken met transport over de weg (zie Tabel 3) dat vaker ingezet wordt voor vervoer van grondstoffen die bij sloop vrijkomen.

9.2 Benodigde ontwikkeling

Het concept circulaire (beton)economie is nog in de conceptfase. Daarom zijn verdere ontwikkelingen op zowel strategisch, tactisch als operationeel niveau nodig. Deze ontwikkelingen worden hieronder toegelicht. Het doel van deze ontwikkelingen is om de mate waarin invulling wordt gegeven aan circulaire economie toetsbaar te maken en de circulariteit van beton in zijn toepassingen te bevorderen. Door duidelijke kaders en randvoorwaarden te stellen wordt het mogelijk dat betrokken partijen op elkaar in kunnen spelen en de relevante productieprocessen en grondstofstromen een geminimaliseerde schade op de omgeving hebben. Op termijn kan zo draagvlak gecreëerd worden om ombuiging van de lineaire economie naar die de circulaire economie mogelijk te maken.

Eenduidige definitie van de circulaire betoneconomie

Circulaire economie is een onvoldoende gedefinieerd begrip; ook voor beton. Voor beton zal het begrip circulaire economie duidelijk en eenduidig moeten zijn.

Benoemd zal moeten worden wat tot de betonketen behoort en in welke mate er sprake mag of moet zijn van een gesloten keten en er snijvlakken(overlappingsen) mogen zijn met andere ketens.

Mate waarin een aanpak circulair is meetbaar maken

Objectieve parameters/referenties bepalen die de mate waarin invulling wordt gegeven aan circulaire economie concretiseren. Een voorbeeld van een invulling is Bouwen voor recycling, d.w.z. zorgen dat aan het eind van de levenscyclus van de constructie de gebruikte grondstoffen weer terugwinbaar zijn als grondstofconstructie. In het verlengde daarvan het gebruik van grondstoffen met een verantwoorde herkomst.

Hierbij is het van belang dat de gekozen parameters/referenties niet alleen objectief zijn, maar ook een breed draagvlak verkrijgen bij belanghebbende partijen.

Ontwikkeling van toetsingsinstrumenten

Toetsingsinstrumenten maken voor het vaststellen van de mate waarin circulaire economie wordt ingevuld.

Kaders creëren waarin de mate waarin invulling wordt gegeven aan het begrip circulaire economie wordt gehonoreerd. Aanbeveling is om hierbij, voor zover mogelijk aansluiting te zoeken bij bestaande marktinitiatieven, zoals GPR, BREEAM maar ook EMVI, en op termijn desgewenst in de publieke sector



wettelijke kaders voor circulariteit vast te leggen. Vaststellen waar bottlenecks, maar ook kansen bestaan om met de huidige kennis en middelen de circulaire economie met betrekking tot beton te realiseren.

9.3 Kansen en belemmeringen

De kansen en belemmeringen kunnen als volgt samengevat worden:

Het concept circulaire betoneconomie is weinig concreet

Belemmering Op dit moment is het concept circulaire betoneconomie nog onvoldoende gedefinieerd. Hierdoor is het moeilijk om de inzichten om te zetten in actie en aansprekende voorbeelden te realiseren.

Lange levensduur van beton

Kans De technische levensduur van beton is hoog dus het vergroten van de levensduur van een betonnen object door het flexibel of demontabel te ontwerpen biedt grote kansen om het efficiënt gebruik van de grondstof te verhogen.

Belemmering Tegelijkertijd compliceert het sterk de business case. Er zijn op dit moment weinig praktijkvoorbeelden waarin eigendomsverhoudingen en garantie-bepalingen gelden voor een periode van 50 tot 100 jaar. Daar moeten maatoplossingen voor gevonden worden.

Ontwikkeling van innovatieve betonrecyclingtechnologie

Kans De nieuwe recyclingtechnologie die nu in ontwikkeling is produceert innovatief teruggewonnen toeslagmaterialen en cementsteen. Zoals in het vorige hoofdstuk besproken is, bieden deze materialen nieuwe mogelijkheden. In ieder geval hoeft de K-factor niet aangepast te worden bij hogere aandelen teruggewonnen toeslagmateriaal.

De circulaire economie vergt verregaande samenwerking

De circulaire economie is gericht op kringloopsluiting. Dit betekent dat er meer transparantie nodig is over wie wat doet met de grondstofstroom.

Kans Meer transparantie leidt meestal tot meer vertrouwen en betere kennis-uitwisseling waardoor beter van bestaande kennis gebruik gemaakt wordt en de kennisverspreiding verbeterd (minder versnippering).

Dit biedt mogelijkheden voor kwaliteitsverbetering, voorkomen van faalkosten en doorvoeren van andere innovaties.

Indien verder gaande specialisatie nodig is om de kringloopsluiting mogelijk te maken kan verdergaande samenwerking ook grotere bedrijfszekerheid bieden aan de ketenpartners.

Belemmering Deze manier vergt een andere houding ten aanzien van het delen van kennis en andere criteria waarop samenwerkingsverbanden worden opgezet dan nu gebruikelijk. Verder beperkt het ook de vrijheid van de betrokken partijen om stoffen toe te voegen aan de materiaalstroom bijvoorbeeld in de vorm van toevoeging van gips of het gebruik van laagwaardige reststromen als vulstof. Als beton lineair ingezet wordt is toevoeging van bijvoorbeeld gips gewenst omdat het de verwerkbaarheid van het beton verhoogd, maar als je het beton circulair wil inzetten als grondstof voor nieuw beton is het ongewenst omdat het gebruik van cementsteen als ovenvoeding voor Portlandcementklinker beperkt wordt door de aanwezigheid van de zwavelverbindingen waaruit gips bestaat. Vergelijkbare redeneringen zijn van toepassing voor de inzet van vliegask en hoogovenslak



Interpretatie milieuregeling

Als voorbeeld van milieuwetgeving die belemmerend werkt worden moeilijkheden genoemd die bedrijven ondervinden die reststromen van andere bedrijven inzetten als grondstof voor hun proces. Regulier gebruikte secundaire grondstoffen, zoals poederkoolvliegias van kolengestookte elektriciteitscentrales worden nog steeds als afval gezien, wat in sommige gevallen door bij handhaving van het bevoegd gezag er voor zorgt dat men wil dat beton(mortel)centrales een afstoffenvergunning zouden moeten aanvragen. Dit bevordert het hergebruik/circulaire economie niet.

9.4 Business case

Zoals aangegeven in de inleiding zijn er twee verschillende aspecten aan circulaire economie:

1. Demontabel/modulair bouwen in de zin dat materialen/grondstoffen makkelijk gescheiden kunnen worden.
 2. Betonsamenstelling optimaliseren voor hergebruik.
- Hieronder gaan we op de verschillende aspecten in.

Business case demontabel bouwen

Uit onderzoek van de TU Delft naar hergebruik van bestaande gebouwen voor nieuwe gebouwen weten we het een of ander over kosten van hergebruik. Onderzoek naar het hergebruikpotentieel van vloerdelen leidt tot maximaal 20% hogere kostprijs als er geen grote afstanden afgelegd hoeven te worden met de betreffende vloeren (Naber, 2012). In het geval dat er bij ontwerp van een nieuw gebouw rekening is gehouden met de beschikbare zogenoemde 'donor skeletten' van gebouwen die op de lijst staan om gesloopt te worden blijkt 5-10% kostenreductie mogelijk (Glas, 2013). In beide voorbeelden is uitgegaan van gebouwen die niet demontabel ontworpen waren. Mogelijk kunnen deze kosten nog verder verbeterd worden als het gebouw ontworpen is voor demontage.

Business case optimaliseren betonsamenstelling

In de voorgaande hoofdstukken is ingegaan op de business cases voor korrelpakking optimalisatie en hergebruik van innovatief teruggewonnen toeslagmateriaal en cementsteen. Deze business cases zijn veelbelovend. De intentie van dit handelingsperspectief is om nog een extra stap te zetten door vooraf de samenstelling van beton en cement te optimaliseren op geschiktheid van het beton voor recycling. Het is waarschijnlijk dat hiermee de eerder genoemde business cases verder verbeteren. Voorbeelden van toepassingen in de infra is het verbeteren van de betonsamenstelling zodat het beton bijvoorbeeld zelfhelend is waardoor de levensduur langer is en er minder onderhoud nodig is. Aangezien er veel nog onduidelijk is over wat dit precies betekent in de praktijk is het moeilijk om aan te geven wat hiervoor nodig is en wat het precies oplevert. De verwachting is wel dat het een grote cultuuromslag vergt om dit mogelijk te maken.



9.5 Plan van aanpak

Er worden voor dit handelingsperspectief de volgende stappen voorgesteld:

Stap 1: Ontwikkeling van een community of practice

Opzetten van communities of practice die aan de hand van praktijkcases de randvoorwaarden voor circulair betongebruik in de praktijk definiëren.

Hierbij moet antwoord komen op vragen zoals:

- Hoe reguleren we de keten, betekend recirculatie dat de keten zelfregulerend is, of is er sprake van een regisseur?
- Hoe kan er sprake zijn van waardecreatie?
- Hoe regel je eigendomsverhoudingen en garanties bij een levensduur van meer dan 20 jaar?
- Hoe moet je een grondstoffen paspoort opzetten om het te kunnen laten functioneren als een middel om in de sloopfase optimaal hergebruik van materialen te kunnen maken?

Stap 2: Opzetten van een adviesraad

Opzetten van een adviesraad met wetenschappelijke ondersteuning om expertise op te bouwen over mogelijke oplossingen voor bovengenoemde vragen en andere aspecten van het verdienmodel voor dit handelingsperspectief.

Stap 3: Opnemen van de deconstructiefase in de aanbestedingsvoorwaarden

In EMVI-voorwaarden een optimale oplossing voor de deconstructiefase in termen van milieudruk opnemen. Zorgen dat duidelijk is dat een integrale (circulaire) projectinvulling wordt gewaardeerd en beloofd. Het bestek openstellen voor een circulaire benadering.

Het voordeel is dat de opdrachtgever en de opdrachtnemer vanuit een gezamenlijk belang circulaire economie acties ontplooiën richting andere stakeholders.

In zowel de aanvraag als het definitieve contract de beperkingen van bestaande circulaire oplossingen benoemen en het belang van nieuwe circulaire economie oplossingen onderstrepen (bonussysteem moedigt dit aan).

Hierbij moet goed in de gaten gehouden worden dat de achterliggende doelstelling van deze stap is om de aanbestedingsmethodiek te veranderen van de situatie waarin gewerkt wordt op basis van de (RAW-)besteksystematiek waarbij verder geen aandacht besteedt werd aan herkomst van grondstoffen en eventuele toepassing na gebruik naar een situatie waarin gewerkt wordt op basis van ENVI-criteria in combinatie met total costs of ownership (TCO), die zich uitstrekken van het vrijmaken van de grondstoffen tot en met de deconstructiefase. Waarbij het aan de opdrachtgever is om zo functioneel mogelijk aan te besteden en aan de opdrachtnemer om met een oplossing te komen met zo hoog mogelijke maatschappelijke baten en zo laag mogelijk maatschappelijke kosten.

Parallel met Stap 3:

Stap 4: Ontwikkeling van Grondstoffenpaspoort

Zoals aangegeven bij de kansen en belemmeringen verder gaande transparantie over de samenstelling van materiaalstroom en welke specificaties optimaal zijn bij iedere verwerkingsstap noodzakelijk om tot ketensluiting te komen.



Een manier om deze samenwerking handen en voeten te geven is het invoeren van een grondstoffenpaspoort waarin bij iedere bewerking aangetekend wordt hoe de betreffende grondstoffen zijn behandeld en welke toevoegingen er zijn gedaan. Aan de hand van deze beschrijvingen zou de actuele samenstelling van het beton beschikbaar moeten zijn op het moment dat het betonvrijkomt.

Door de introductie van de manier van werken te combineren met de ontwikkeling van de recycling technieken in het beton die in het handelingsperspectief innovatieve betonrecyclingtechnologie worden ontwikkeld kan ervaring opgedaan worden met de gewenste samenstelling van beton en achterhaald worden welke additieven onwenselijk zijn omdat ze de herbruikbaarheid van bijvoorbeeld het cementsteen verminderen.

Daarnaast zou van iedere stap uitgezocht kunnen worden wat de milieubelasting is zodat niet alleen de huidige samenstelling van de grondstofstroom waar het grondstoffenpaspoort bij hoort bekend is maar ook de milieu-impact die het tot dan toe gehad heeft.

Samengevat moeten de volgende zaken op strategisch niveau geregeld worden:

- inzichten geven in productieprocessen en ketensturing;
- aansluiten bij en verder uitbouwen van bestaande initiatieven;
- op basis van de gegevens kunnen strategische beslissingen genomen worden;
- draagvlak binnen de keten creëren;
- inzicht in samenstelling en milieubelasting van herkomst en productie.

Concreet betekent dit dat er concrete instrumenten ontwikkelt moeten worden zoals de goed beton tool van SBRCURnet en dat er aansluiting met de bouwpraktijk gevonden wordt door:

- de benodigde begrippen verder te definiëren;
- BIM-technologie en het paspoort te laten combineren;
- het grondstoffen paspoort geschikt te maken voor gebruik bij een aanbesteding volgens ENVI-criteria;
- goede inpassing in Breaam en Dubocalc.

9.6 Conclusies

Het handelingsperspectief circulaire economie richt zich op het totaal van ontwerp, productie, onderhoud, gebruik, hergebruik en logistiek, inclusief eigenaarschap (om zo direct toegang te houden tot de grondstoffen), dit is weergegeven in Figuur 3. De circulaire economie is een economisch systeem dat bedoeld is om herbruikbaarheid van grondstoffen, producten en menselijke talenten te maximaliseren en waarde vernietiging te minimaliseren.

Anders dan in het huidige lineaire systeem, waarin grondstoffen worden omgezet in producten die na verbruik worden vernietigd en talenten die onnodig overbodig worden verklaard. Daarnaast heeft volgens de leden van de subwerkgroep de circulaire economie van beton sterk te maken met de performance economy waarbij de voorwaarden zijn dat de goederen of grondstoffen van vandaag de grondstofbanken van morgen zijn. Om ruimte te kunnen maken voor de circulaire economie is een ander manier van werken nodig.

Het gaat hierbij om structurele veranderingen in de manier waarop organisaties samenwerken en projecten financieren. Daarnaast is er ook een verandering nodig in de manier waarop ontwerpers hun ontwerp opdracht benaderen: hoe ontwerp je een gebouw zo dat ook na zijn levensduur het



gebouw optimaal gereed is voor een volgend leven? Dit kan mogelijk gemaakt worden door het gebouw zo te ontwerpen dat het in delen uit elkaar gehaald kan worden, maar ook door het beton zo samen te tellen dat het gebruikte beton een ideale samenstelling heeft om als grondstof te dienen voor nieuw beton.

De belangrijkste belemmering is dat dit handelingsperspectief nog in de conceptfase bevindt en verder uitgedacht moet worden. Een eerste stap zou zijn om in het kader van duurzaam inkopen CO₂-emissie die gerelateerd zijn aan het voorgestelde product en de total costs of ownership (TCO) ook expliciet van toepassing te laten zijn op de gehele levensduur van grondstof delving (bij primaire materialen het vrijmaken uit groeves, bij secundaire materialen het vrijmaken uit bestaand beton) tot en met de deconstructie fase. Bij de deconstructiefase kan gedacht worden aan toepassing als funderingsmateriaal (standaard) of toepassing als grondstof voor nieuw beton. Bij toepassing als grondstof voor nieuw beton zal wel aangegeven moeten worden hoe de grondstofkwaliteit gegarandeerd is, bijvoorbeeld aan de hand van een nog nader te definiëren grondstoffenpaspoort.





Referenties

ACI, 1996

Strengths of recycled aggregate concrete made using field demolished concrete as aggregate by Moustafa Tavakoli and Parviz Soroushian, ACI Materials Journal V93, No2, March-April 1996

Aether, 2014

Officiële website van het Aether project

Beschikbaar via: www.aether-cement.eu

Geraadpleegd april 2014

Ascem, 2012

A. Buchwald

ASCEM cement : a contribution towards conserving primary resources and reducing the output of CO

In: Cement International, Vol. 10, Issue 5 (2012);p. 86-97

Betoniek, 2014

Leo Dekker, Mebin BV

Anders rekenen aan beton : milieubelasting bepalend bij keuze warme of koude gietbouw

In: Betoniek, nr. 2, (2014); p. 10-14

BOB AG, 2014

Benhard Frohn

Presentatie over het BOB AG concept zoals dat gerealiseerd is in Aken

Meer info beschikbaar via: www.bob-ag.de

Rijksoverheid, 2013

Kamerbrief van Minister Blok (Wonen en Rijksdienst) aan de tweede kamer, 29 november 2013 : Maatregelen energiebesparing gebouwde omgeving

Beschikbaar via: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/kamerstukken/2013/12/02/kamerbrief-over-ontwikkelingen-op-energiebesparing-in-de-gebouwde-omgeving.html>

Lotfi, et al., 2014

Somayeh Lotfi, Jan Deja, Peter Rem, Radosław Mróz, Eric van Roekel, Hans van der Stelt

Mechanical recycling of EOL concrete into high-grade aggregates

In: Resources, Conservation and Recycling. Vol. 87, June (2014); p. 117-125

CE Delft, 2011

Eelco den Boer, Matthijs Otten, Huib van Essen

STREAM International Freight 2011 : Comparison of various transport modes on a EU scale with the STREAM database

Delft : CE Delft, 2011

Beschikbaar via:

http://www.cedelft.eu/publicatie/stream_international_freight_2011/1174



CE Delft, 2013a

M.M. (Marijn) Bijleveld, G.C. (Geert) Bergsma, M. (Marit) van Lieshout
Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw
Delft : CE Delft, 2013

Beschikbaar via: www.ce.nl/publicatie/milieu-impact_van_betongebruik_in_de_nederlandse_bouw/1374

CE Delft, 2013b

Marit van Lieshout, Geert Warringa en Geert Bergsma
Prioritering handelings-perspectieven verduurzaming betonketen- Op basis van kostencurve methodiek
Delft : CE Delft, 2013

Beschikbaar via: www.ce.nl/publicatie/prioritering_handelingsperspectieven_verduurzaming_betonketen/1433

Deltares, 2011

J. Booster
Haalbaarheidsstudie geopolymeren
S.l. : Rijkswaterstaat, 2011

Florea, 2014

Miruna Victoria Alexandra Florea
Secondary materials applied in cement-based products : Treatment, modelling and environmental interaction
Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven, 2014

Florea en Brouwers, 2013

M.V.A. Florea, H.J.H. Brouwers
Properties of various size fractions of crushed concrete related to process conditions and re-use
In: Cement and Concrete Research, No. 52 (2013); p. 11-21

Glias, 2013

A. Glias
The "Donor Skelet" : Designing with reused structural concrete elements (Master thesis)
Delft : TU Delft, 2013

Gruppe Betonmarketing Österreich, 2010

Energie Speicher Beton, Innovationspreis 2010 : Die besten Bauwerke mit thermischer Bauteilaktivierung
Wien : Zement+Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H, 2010

HeidelbergCement, 2013

Wolfgang Dienemann, Ernest Jelito, Frank Bullerjahn, Dirk Schmitt en Mohsen BenHaha
BCT Technology : a new alternative binder concept
In: ZKG International, No.5 (2013); p 25-27
Beschikbaar via: www.zkg.de.

Lafarge, 2011

G. Walenta and C. Comparet
New cements and innovative binder technologies BCSAF cements : recent developments
Presentatie van Lafarge research Centre Lyon tijdens de ECRA Conferentie in Barcelona, 2011



MVO Netwerk Beton, 2014

Jaarverslag Concreet 1.0 - Green Deal Verduurzaming Beton

Utrecht : MVO Nederland (MVO Netwerk Beton), 2014

Beschikbaar via:

http://www.spanbeton.nl/content/files/Files/Downloads/Jaarverslag_concreet_10.pdf

Mlecknik, 2013

Erwin Mlecknik

Innovation development for highly energy-efficient housing : Opportunities and challenges related to the adoption of passive houses

Brussel : Vrije Universiteit Brussel, 2013

Naber, 2012

Nanda Naber

Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings (MSc Graduation Thesis)

Delft : TU Delft, 2012

REHVA, 2013

Franziska Bockelmann, Stefan Plesser, Hanna Soldaty

Advanced system design and operation of GEOTABS buildings : REHVA

Guidebook No 20

Beschikbaar via:

<http://www.rehva.eu/>

Rijksoverheid, 2014

Website "Green Deal aanmelden": Informatie over voorwaarden van een green deal

Beschikbaar via:

<http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/green-deal/green-deal-aanmelden>

Geraadpleegd in mei 2014

Stufib, 2014

J. Cederhout, et al.

Betonkernactivering in de uitvoering

Bunschoten : Studievereniging fib (Stufib), 2014

STUTECH/STUFIB, 2014

Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton - toegespitst op CO₂

Fase B: uitwerking basisopties

S.l : STUTECH/STUFIB, 2014

Veen en Noordhuis, 2013

Jack van der Veen en Marcel Noordhuis

Ketensamenwerking is geen geloof

In : Renda, nr. 2 (2013); p. 26-29





Bijlage A Werkgroepleden

Werkgroep kansen en belemmeringen:

Harry Hofman (voorzitter)	Strukton
Evert Schut ¹⁷ (Projectleider Green Deal)	Rijkswaterstaat
Murk de Roos	Ministerie van I&M
Eric van Roekel ¹⁸	Grondbank/Strukton
Hans Berkien ¹⁹	Van Hattum en Blankevoort bv
Jack van der Palen ²⁰	Archiview
Leo Dekker ²¹	MEBIN B.V.
Mantijn van Leeuwen ²²	CRH Sustainable Concrete Centre
Thies van der Wal ²³	VBI B.V.
Boudewijn Piscaer	Univerde
Esther van Spijker	Van Spijker Infrabouw B.V.
Henk van Holten	MEBIN B.V.
Jeroen Frenay	ENCI B.V.
Klaas Visser	Ballast Nedam Infra Speciale Projecten
Piet van Luijk	Ministerie van Binnenlandse Zaken
Pieter Lanser	Cement en Betoncentrum
Ton Pielkenrood	BFBN
Wenda de Wit	Van Nieuwpoort Bouwgrondstoffen B.V
Anne ten Brummelhuis	MVO Nederland

De leden van de verschillende subwerkgroepensubwerkgroepen:

Subwerkgroep innovatief geopolymeer:

Mantijn van Leeuwen	CRH
Thomas Heye	Boele en van Eesteren BV
Peter de Vries	Heidelberg Benelux
Anja Buchwald	Ascem
Edwin Vermeulen	Van Nieuwpoort
Rene Albers	Orcem
Rob Bleijerveld	Van Gansewinkel
Marno Dingenouts	BASF

Subwerkgroep CSA-B:

Hans Berkien	Van Hattum Blankevoort
Erik de Vries	CRH
Marcel Bruin	Heidelberg Benelux

Subwerkgroep korrempakkingoptimalisatie:

Henk Schuur	BFBN
Boudewijn Piscaer	Sustcon
Hans Bonarius	Dekkergroep
Martin Hunger	Heidelberg Benelux

¹⁷ Voorzitter subwerkgroep korrempakkingoptimalisatie.

¹⁸ Voorzitter werkgroep innovatieve betonrecyclingstechnologie.

¹⁹ Voorzitter subwerkgroep CSA-B.

²⁰ Voorzitter subwerkgroep circulaire economie.

²¹ Voorzitter subwerkgroep smart concrete.

²² Voorzitter subwerkgroep innovatieve geopolymeren.

²³ Voorzitter subwerkgroep betonkernactivering nieuwe stijl.



Jos Kronemeijer
Eelco van der Weij
Evert Schut

Van Hattum Blankevoort
CRH
Rijkswaterstaat

Subwerkgroep smart concrete:

Leo Dekker
Frank Hoekemeijer
Pauline Iding
Werner Remarque
Ab van den Bos
Angelo Saraber
Marno Dingenouts
Toine van Casteren

Heidelberg Benelux
Heijmans
Ballast Nedam
Cemex
TNO Diana
Vliegasonie
BASF
B|A|S research and technology

Subwerkgroep betonkernactivering nieuwe stijl:

Thies van der Wal
Hans Köhne
Jeroen Frenay

VBI Spanbeton
Cement&BetonCentrum
Heidelberg Benelux

Subwerkgroep innovatieve betonrecyclingtechniek:

Eric van Roekel
David Heijkoop
Evert Schut
Jos Kronemeijer
Edo Peet
Werner Remarque
Peter Jongmans
Leo Dekker
Koos Schenk
Marc Ottelé
Erik Scherpbier
Hans Boer
Toine van Casteren

Strukton (Afvalbank Nederland)
Bentum Recycling B.V.
Rijkswaterstaat
Van Hattum en Blankevoort (VHB) infra
Bruil
Cemex
Beelen
Heidelberg Benelux
Schenk Concrete Consultancy
Heijmans
van Nieuwpoort
VAR
B|A|S research and technology

Subwerkgroep circulaire economy:

Jack van der Palen
Evert Schut
Michel Schuurman
Lars van der Meulen
Guus van den Berghe
Peter Broere
Murk de Roos
Marie van der Poel
Oscar Dekker
Nico Vonk

architectengroep ARCHIVIEW
Rijkswaterstaat
MVO Nederland
Volker Wessels
Rijkswaterstaat
BRBS
Ministerie I&M
VOBN
Bruil
Kiwa BMC

