

#duurzaambeton

trending topics

DUURZAAM BOUWEN MET BETON

BOUWEN MET BETON

VOOR DUURZAAM BOUWEN

Inleiding

Beton speelt een belangrijke rol in een duurzame samenleving. Door zijn veelzijdigheid biedt het vele mogelijkheden voor duurzaam bouwen. Beton past perfect in de circulaire economie, heeft een extreem lange levensduur, is veilig en het draagt bij aan een comfortabel en energiezuinig gebruik. De grote vormvrijheid van beton biedt mogelijkheden om zowel standaard als meer bijzondere bouwwerken te maken en om materiaal armer te bouwen. Beton is bovendien samengesteld uit natuurlijke grondstoffen, die altijd op korte afstand én ruim voorradig zijn én gerecycled kunnen worden.

Deze vele mogelijkheden maken duurzaam bouwen met beton wel complex. Er is geen standaard oplossing voor het beste resultaat. Voor het maken van de juiste keuzes is het van groot belang om de expertise van de betonsector op tijd in te schakelen om zo duurzaam mogelijk te bouwen met beton.

Duurzaam bouwen met beton vraagt om een integrale en milieubewuste benadering. Hierbij hoort een open houding en veel communicatie van de betrokken bouwpartijen: overheid, opdrachtgever, gebruiker, architect, constructeur, aannemer, installateur en alle andere adviseurs.

Deze publicatie belicht veelgehoorde onderwerpen van discussie over duurzaam of duurzamer bouwen met beton. Overwegingen en handvatten worden gegeven waarmee u zich beter gewapend mengt in deze discussies en bewuste keuzes maakt voor uw specifieke project.

Of het nu gaat om **het bouwen voor nu én straks** (circulaire economie, levensduur, veiligheid), het **optimaal benutten van kwaliteiten** (comfort, energie-, materiaalgebruik), een **uitvoering op maat** (transport, milieubewuste werkplanning, optimale betonmengsels), of een **verantwoord grondstoffengebruik** (CO₂-footprint, recycling), **#duurzaam beton – trending topics** helpt u op weg.

De publicatie is zo opgezet dat u zelf bepaalt waar u deze weg inslaat. De onderwerpen zijn namelijk onderling gelinkt. De leesvolgorde is daarmee vrij. Immers, hoe 'trending' een topic is, is voor ieder weer anders.

Inhoud

#1 Waarde van grondstoffen behouden

CIRCULAIRE ECONOMIE | SCHONE KETEN | BOUWEN VOOR HERGEBRUIK

#2 Waarde van bouwwerken behouden

TECHNISCH/ECONOMISCHE LEVENSDUUR | HERBESTEMMING | ONDERHOUD

#3 Kiezen voor veiligheid

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID | BESTANDHEID TEGEN WATER EN BRAND

#4 Comfortabel en zuinig in gebruik

GELUIDSISOLATIE | THERMISCH COMFORT | LAAG ENERGIEVERBRUIK

#5 Materiaalarm bouwen

VORMVRIJHEID | SLANK EN STERK | WAPENING | BEKISTING

#6 Minder transport, meer transparant

TRANSPORT EN LOGISTIEK | BETROUWBAARHEID | DESKUNDIGHEID

#7 Een milieubewuste werkplanning

DRAAIEN AAN DE 'KNOPPEN' KLINKER, TIJD EN TEMPERATUUR

#8 Hulpstoffen voor de juiste prestaties

BETONMENGSELS OP MAAT | VERWERKBAARHEID | FYSISCHE DUURZAAMHEID

#9 CO₂-arme cementen

KLINKERARME CEMENTEN | PRESTATIES | ALTERNATIEVE BINDMIDDELEN

#10 Groene winning, schone keten

TOESLAGMATERIAAL | BETONGRANULAAT | TRANSPORT EN LOGISTIEK

#duurzaam beton is:
**bouwen voor
nu én straks**

#duurzaam beton is:
**kwaliteiten
optimaal benutten**

#duurzaam beton is:
**uitvoering
op maat**

#duurzaam beton is:
**verantwoord
grondstoffen-
gebruik**



Is het nu cement of beton?

In de wereld van cement en beton komen veel vakspecifieke woorden en begrippen voor. Zo ook in deze publicatie. Voor de één gesneden koek, voor de ander abracadabra. Voor de zekerheid geven we hier een paar definities:

Cement: fijngemalen anorganische stof die, na mengen met water, cementpasta of cementlijm oplevert. Deze pasta verhardt tot cementsteen en behoudt stabiliteit, ook onder water.

Beton: verhard mengsel van cement, grof en fijn toeslagmateriaal en water. Verder kunnen vulstoffen en hulpstoffen zijn toegevoegd. Beton ontwikkelt zijn eigenschappen door de hydratatie van cement.

En is het betonspecie of betonmortel? De definitie voor beide luidt: *een nog plastisch mengsel van cement, grof en fijn toeslagmateriaal en water waaraan vul- en hulpstoffen kunnen zijn toegevoegd.*

Toch is er een verschil: betonspecie, geleverd door een betoncentrale, wordt in het spraakgebruik betonmortel genoemd.

Nog steeds abracadabra? Kijk dan voor een meer uitgebreide omschrijving van deze en tal van andere vakspecifieke woorden en begrippen in het BetonLexicon, van 'Aanmaakwater' tot 'Zwavelzuuraantasting': www.betonlexicon.nl.

Milieubelasting en CO₂-footprint

In deze publicatie bedoelen we met milieubelasting: de mate waarin het milieu wordt belast door alle milieueffecten die in Nederland in levenscyclusanalyses (LCA) worden uitgedrukt. Met CO₂-footprint bedoelen we het broeikaseffect, dat wordt veroorzaakt door CO₂ én een aantal andere broeikasgassen. Al deze gassen samen worden uitgedrukt in één getal: de CO₂-equivalente waarde (in kg CO₂ eq). Termen zoals CO₂-uitstoot en CO₂-emissie slaan niet op de equivalente maar werkelijke hoeveelheid CO₂ die vrijkomt.

#1

Waarde van grondstoffen behouden

Waarde van grondstoffen behouden

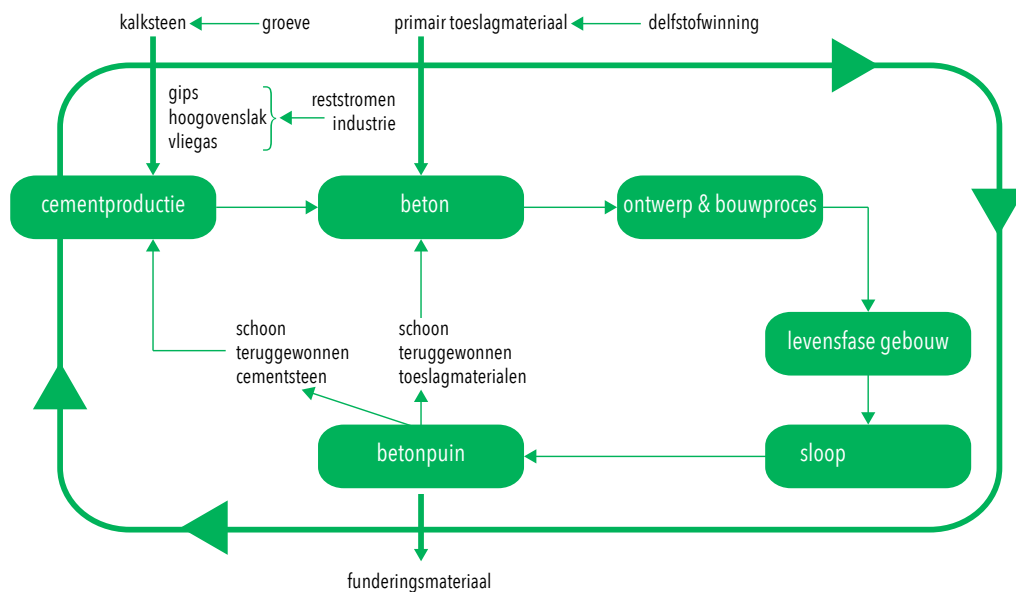
CIRCULAIRE ECONOMIE | SCHONE KETEN | BOUWEN VOOR HERGEBRUIK

Beton is een duurzaam bouw materiaal dat blijvend kan worden hergebruikt. En dat zonder kwaliteitsverlies. Daarmee past beton prima in de gedachte van de circulaire economie.

Circulaire economie

De circulaire economie moet worden gezien als een economisch systeem dat is bedoeld om herbruikbaarheid van grondstoffen, producten en menselijke talenten te maximaliseren en waardevernietiging te minimaliseren. Dat is anders dan het nog veel voorkomende lineaire systeem, waarin grondstoffen worden omgezet in producten die na verbruik worden afgedankt of vernietigd. Vanuit de benadering van een circulaire economie is het niet de vraag wat je met afvalstoffen kunt, maar hoe je in een volgende cyclus ervoor kunt zorgen dat producten, materialen en grondstoffen effectief kunnen worden teruggewonnen en weer opnieuw gebruikt.

Figuur 1 | Voorbeeld van de betonketen.



> In het rapport 'Handelingsperspectieven verduurzaming betonsector - Resultaten van zeven werkgroepen van het MVO Netwerk Beton (CE Delft, september 2014), door M. van Lieshout en G. Bergsma, staan zeven opties beschreven om de betonketen te verduurzamen.

Circulaire economie maakt behalve van de eigen keten ook gebruik van andere ketens. Beton is daar een goed voorbeeld van. Naast primaire grondstoffen worden ook bijproducten uit andere productieprocessen gebruikt, zoals hoogovenslak en poederkoolvliegias in cement of beton. Betongranulaat dat aan het eind van de levensduur na sloop en breken ontstaat, wordt opnieuw ingezet als grondstof.

- > In #9. **CO₂-arme cementen** staat hoe poederkoolvliegias en hoogovencement de CO₂-footprint van cement flink kunnen verlagen.
- > In #10. **groene winning, schone keten** wordt dieper ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van betongranulaat.

Schone keten

De technische levensduur van beton is lang: vaak meer dan 100 jaar. Beton mag dan ook met recht een kwaliteitsproduct worden genoemd. Een product waaraan hoge eisen worden gesteld. Blijvend onderzoek wordt gedaan naar nieuwe ontwikkelingen in het gebruik van cementen of bindmiddelen en toeslagmaterialen. Hierbij worden de mogelijkheden uit andere productieketens zorgvuldig verkend. Dit laatste om ervoor te zorgen dat de circulariteit van de betonketen in stand blijft en niet wordt verstoord door het gebruik van grondstoffen die hergebruik later kunnen belemmeren.



Foto | Duurzaamheid speelde een grote rol bij de realisatie van het nieuwe DUO-onderkomen in Groningen.

> In #2. **waarde van bouwwerken behouden** wordt ingegaan op de lange levensduur van beton in zowel milde als agressieve milieus.

#1

Waarde van grondstoffen behouden

#1

Waarde van grondstoffen behouden

Verantwoorde herkomst van grondstoffen

Om beton duurzaam te mogen noemen, zullen ook de toegepaste grondstoffen een verantwoorde herkomst moeten hebben. De betonsector en haar toeleveranciers spannen zich in om hieraan te voldoen. Daarbij hoort een goede traceerbaarheid van de transport-, extractie- en productieprocessen vanaf de oorsprong tot aan de ingebruikname van beton, met betrekking tot alle grondstoffen die daarin zitten. Doel is om de sector hiermee transparanter te maken en verduurzaming fors te stimuleren. Deze doelstelling sluit aan bij die van de World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), die een keurmerk ontwikkelt voor verantwoorde herkomst van grondstoffen. De verwachting is dat dit keurmerk zal worden opgenomen in diverse certificeringssystemen, zoals bijvoorbeeld BREEAM. Nederland loopt voorop in deze ontwikkelingen en heeft nadrukkelijk de ambitie dat te blijven doen.

- > In **#6. minder transport, meer transparant** wordt ingegaan op het stimuleren van een hoge betrouwbaarheid en deskundigheid van de betonsector.



Door de bomen het bos blijven zien

Er zijn meerdere definities van duurzaam bouwen. Dat maakt het in de praktijk moeilijk om goede afspraken te maken tussen investeerders, opdrachtgevers, ontwerpers, bouwers, adviseurs en gebruikers over duurzaam (ver)bouwen. Daarom is er een bepalingmethode ontstaan waarmee professionals de milieuprestaties van een bouwwerk kunnen meten. Deze bepalingmethode is gebaseerd op levenscyclusanalyses (LCA). Een LCA beschrijft de milieueffecten van een bouw materiaal, product, samengesteld bouwdeel, of van een volledig bouwwerk gedurende de hele cyclus: van winning van de grondstof, productie en transport, tot gebruik en sloop.

In Nederland wordt gekeken naar elf verschillende milieueffecten. De LCA wordt getoetst door een externe partij (peer reviewer). Na goedkeuring wordt de LCA in elf milieueffecten samengevat op een zogenaamd MRPI-blad voor het desbetreffende bouw materiaal, -product of -element. De milieueffecten die op het MRPI-blad staan, kunnen worden omgerekend naar één enkel getal: de milieukostenindicator (MKI). Dit is een fictief geldbedrag dat nodig zou zijn om de milieueffecten te voorkomen of te compenseren. Hoe hoger het bedrag, hoe schadelijker de gekozen oplossing voor het milieu. De milieueffecten worden vervolgens opgeslagen in de Nationale Milieudatabase (NMD). In de genoemde bepalingmethode wordt beschreven hoe met deze getallen gerekend moet worden. Hiervoor is diverse software op de markt, zoals BREAAM, DuboCalc en GPR Gebouw. Zie verder: Bouwbesluit, afdeling 5.2 Milieu, nieuwbouw, artikel 5.8 en 5.9, en www.milieudatabase.nl.

- > In **#7. een milieubewuste werkplanning** staan rekenvoorbeelden waarin wordt gerekend met milieueffecten en de MKI.



#1

Waarde van grondstoffen behouden

#2

Waarde van bouwwerken behouden

Waarde van bouwwerken behouden

TECHNISCH/ECONOMISCHE LEVENSDUUR | HERBESTEMMING | ONDERHOUD

Beton heeft een lange levensduur van vaak meer dan 100 jaar. Goed doordachte en goed uitgevoerde betonconstructies hebben beperkt onderhoud nodig en worden in de tijd soms alleen maar mooier. Door slim ontwerp kan de bestaande, nog goed functionerende betonconstructie bij herbestemming opnieuw worden gebruikt. Zo worden sloop- of herstelwerkzaamheden tot een minimum beperkt en kunnen dierbare bouwwerken behouden blijven.

Ontwerpen op levensduur

De milieubelasting om beton te produceren is, uitgesmeerd over een lange technisch levensduur, beperkt. Bovendien is gedurende deze tijd nauwelijks of geen onderhoud nodig. Of de lange technische levensduur ook als een lange economische levensduur kan worden gezien, wordt voor een groot deel bepaald door het ontwerp van de constructie. Die bepaalt immers de flexibiliteit en aanpasbaarheid. Voorbeelden daarvan zijn de mogelijkheid om later extra trappenhuizen en sparingen toe te voegen, het zodanig dimensioneren van een constructie (bouwen met marge) dat later extra bouwlagen kunnen worden toegevoegd en een heldere verdeling tussen constructieve en niet-constructieve delen. Aan de levensduur van betonnen bouwwerken worden strenge eisen gesteld (tabel 1).

Tabel 1 | Indeling constructies op basis van ontwerplevensduur (NEN-EN 1990, Eurocode 0).

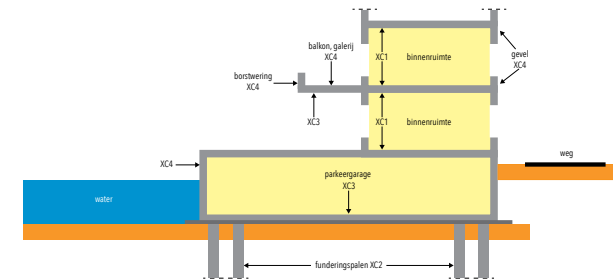
klasse	ontwerplevensduur	toepassing
1	5 jaar	tijdelijke constructies
2	15 jaar	constructies voor land- en tuinbouw en industriegebouwen met maximaal twee bouwlagen
3	50 jaar	gebouwen en andere gewone constructies
4	100 jaar	monumentale gebouwen, bruggen, tunnels e.d. (ter beoordeling van de opdrachtgever)

- > In #3. **kiezen voor veiligheid** wordt duidelijk dat beton bijdraagt aan veilige bouwwerken die ons beschermen tegen extreme omstandigheden.
- > In #5. **materiaalarm bouwen** blijkt dat grote overspanningen (voor constructieve flexibiliteit) ook mogelijk zijn in slanke vormen.
- > In het vakblad Cement, over betonconstructies, zijn twee themanummers verschenen die gewijd zijn aan herbestemming, transformatie en renovatie. Oud wordt nieuw (2014/5) en Herbesteding bestaande bouw (2012/7) zijn te vinden op www.cementonline.nl.

Levensduurdata

Betrouwbare gegevens over de te verwachten levensduur van bouwdelen en bouwproducten zijn van cruciaal belang voor onder meer eigenaren en beheerders van gebouwen, ontwerpers en adviseurs en toeleveranciers van bouwproducten. Levensduurdata zijn van grote betekenis voor de keuze van juiste materialen en constructies voor de beoogde levensduur van een gebouw en de daaraan gerelateerde levensduurkosten en levenscyclusanalyse (LCA). Tevens zijn ze van belang voor het opstellen van meerjarenonderhoudsplanningen van vastgoed. Door Stichting Bouwresearch (SBR) is een uniforme catalogus met betrouwbare referentielevensduren van veel toegepaste bouwproducten op systematische wijze vastgelegd. Deze catalogus sluit aan bij de Nationale Milieudatabase (NMD). De gemiddelde technische levensduren van bouwdelen en bouwproducten (praktijkwaarden) zijn vastgelegd in de SBR-publicatie 'Levensduur van Bouwproducten'. Hieruit blijkt dat de levensduur van veel betonnen constructiedelen is gesteld op meer dan 100 jaar.

- > In #1. **waarde van grondstoffen behouden** is te lezen hoe beton aan het einde van de levensduur van een bouwwerk opnieuw kan worden ingezet in nieuw beton.



Figuur 2 | Milieuklassen in gebouw.

Veeleisende milieus

Van betonconstructies moet de bestandheid tegen invloeden van buitenaf (fysische duurzaamheid) gespecificeerd worden. Daartoe wordt beton ingedeeld in zogenaamde milieuklassen (NEN-EN 206). Er worden hierbij zes hoofdgroepen aangegeven op basis van de mogelijke aantastingsproblemen. Daarbij heeft elke hoofdgroep weer subgroepen die bepalen van welke mate van blootstelling sprake is (tabel 2). Op grond van de aangewezen milieuklasse kunnen minimale betondekking en toelaatbare scheurwijdte worden bepaald, volgens Eurocode 2. In NEN 8005 zijn in tabel E de randvoorwaarden aan de mengselsamenstelling beschreven gekoppeld aan de verschillende milieuklassen. De maximum toelaatbare water-cementfactor en het minimum cementgehalte alsmede het luchtgehalte worden daarin aangegeven. Het beton kan worden blootgesteld aan meer dan één aantastingsmechanisme. In dat geval geven de meest strenge eisen uit de afzonderlijke milieuklassen de doorslag (tabel 2).

#2

Waarde van bouwwerken behouden

Tabel 2 | Milieuklasse-indeling en randvoorwaarden betonsamenstelling volgens NEN-EN 206-1/8005.

milieu- klasse	situatie	maximaal toe- laatbare water- cementfactor ¹⁾	minimaal vereist cementgehalte (kg/m ³) ²⁾	minimum luchtgehalte ³⁾	
				grootste korrel- afmeting D (mm)	luchtgehalte % (v/v)
geen risico op corrosie of aantasting					
X0	-	0,70 ⁴⁾	200 ⁴⁾	-	-
corrosie ingeleid door carbonatie					
XC1	droog of blijvend nat	0,65	260	-	-
XC2	nat, zelden droog	0,60	280	-	-
XC3	matig vochtig	0,55	280	-	-
XC4	wisselend nat en droog	0,50	300	-	-
corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater					
XD1	matig vochtig	0,55	300	-	-
XD2	nat, zelden droog	0,50	300	-	-
XD3	wisselend nat en droog	0,45	300	-	-
corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater					
XS1	blootgesteld aan zouten, maar niet direct in contact met zeewater	0,50	300	-	-
XS2	blijvend onder water	0,45	300	-	-
XS3	getijdzone, spat- en stuifzone	0,45	320 ⁶⁾	-	-
aantasting door vorst/dooiwisselingen met of zonder dooizouten					
XF1	deels verzadigd met water, zonder dooizouten	0,55	300	-	-
XF2	deels verzadigd met water, met dooizouten	0,55	300	63 31,5 16 8	3,0 3,5 4,0 5,0
		0,45	300	-	-
XF3	verzadigd water, zonder dooizouten	0,50	300	-	-
XF4	verzadigd water, met dooizouten	0,50	300	63 31,5 16 8	3,0 3,5 4,0 5,0
		0,45	320 ⁶⁾	-	-
chemische aantasting					
XA1	zwak agressief milieu	0,55	300	-	-
XA2 ⁵⁾	matig agressief milieu	0,50	320	-	-
XA3 ⁵⁾	sterk agressief milieu	0,45	340	-	-

- > Alles weten over betondekking? Raadpleeg Betoniek Standaard 16/09 Geef dekking! www.betoniek.nl.
- > In #8. **hulpstoffen voor de juiste prestaties** wordt uitgelegd hoe hulpstoffen kunnen bijdragen aan de kwaliteit en daarmee fysieke duurzaamheid van beton.

Lang genieten van schoonbeton

Beton in het zicht laten, schoonbeton genoemd, kan tot prachtige resultaten leiden en de esthetische waarde van bouwwerken gedurende de hele levensduur sterk vergroten. Om dat te bereiken is een goed ontwerp niet voldoende. Goede afstemming tijdens de uitvoering is van cruciaal belang.

- > In CUR-Aanbeveling 100 (schoonbeton) worden aanbevelingen gedaan om tot het beste resultaat te komen en onderhoud te beperken: www.cur-aanbevelingen.nl. Het bijbehorende model-werkplan Schoonbeton is een handig hulpmiddel voor een betere communicatie en coördinatie tijdens dit proces en is te vinden op www.cementenbeton.nl (zoektermen: werkplan, schoonbeton).
- > Bekijk ook de brochure 'Uitvoering schoon beton' (VOBN), www.vobn.nl



Foto | Las Palmas, Rotterdam

Toelichting bij tabel 2

1. Of maximaal toelaatbare water-bindmiddelfactor;
2. Of minimaal vereist bindmiddelgehalte;
3. Het minimum luchtgehalte heeft betrekking op het gemeten luchtgehalte.
4. De genoemde water-cementfactor/water-bindmiddelfactor en het genoemde cementgehalte/bindmiddelgehalte zijn alleen van toepassing bij onderwaterbeton.
5. Voor beton in deze milieuklassen dat aan oplossingen met meer dan 600 mg SO₄²⁻/liter of aan grond met een gehalte aan sulfaten > 3000 mg/kg wordt blootgesteld, moet cement met een hoge bestandheid tegen sulfaten worden gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1.
6. Bij bouwdelen met een dikte groter dan 1 m mag het cementgehalte worden gereduceerd tot minimaal 300 kg/m³, onder voorwaarde dat uitsluitend cement met een lage hydratatie-warmte wordt gebruikt dat voldoet aan NEN-EN 197-1.

#2

Waarde van
bouwwerken
behouden

#3

Kiezen
voor
veiligheid

Kiezen voor veiligheid

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID | BESTANDHEID TEGEN WATER EN BRAND

De constructieve veiligheid is een belangrijke voorwaarde als het gaat om bouwen. Beton is een betrouwbaar en degelijk materiaal dat in de meest veeleisende omstandigheden tegen een stootje kan. Denk aan de stormvloedkeringen die ons land al jaren beschermen. Zelfs bij brand blijft beton lang overeind. Beton is eigenlijk onmisbaar voor bijna alle veilige en dus duurzame bouwwerken.

Constructieve veiligheid

Betonnen bruggen dragen verkeer. Damwanden keren de grond. Dat doen ze nu en over een reeks van jaren. Zonder gevaar voor instorting. De constructieve veiligheid van beton is een gegeven. Tenminste, zolang voldoende aandacht wordt gegeven aan ontwerp, constructie en uitvoering. Constructieve veiligheid is een echt vakgebied. Hieraan mogen geen concessies worden gedaan.

- > In #2. **waarde van bouwwerken behouden** wordt ingegaan op de levensduur van beton in zowel milde als agressieve milieus.
- > In #4. **comfortabel en zuinig in gebruik** worden de voordelen van het integreren van constructie en installaties (thermisch actieve betonconstructies) uiteengezet.

Maatschappelijke voordelen

Beton kan bijdragen aan het behoud van functie van bestaande bruggen of viaducten die aan het eind van hun levensduur zijn gekomen. Tevens kan beton bijdragen aan een verbeterde verkeersveiligheid, en het voorkomen van wateroverlast. Dat biedt grote maatschappelijke voordelen.



Vakkennis op peil

Constructief ontwerpers en constructeurs kunnen via de volgende kennisplatforms hun kennis over constructieve veiligheid op peil houden, actuele ontwikkelingen volgen, of informatie vinden over interessante projecten:

Eurocodes

Bij het construeren in beton zijn de Eurocodes van kracht. Eurocodes zijn Europese normen voor het toetsen van de constructieve veiligheid van alle mogelijke bouwconstructies. Het Bouwbesluit 2012 en de Regeling Bouwbesluit 2012 verwijzen direct naar de eerstelijnsnormen uit de NEN-EN 1990-serie Eurocodes. Bij de Eurocodes gaat het om het beoordelen van nog te bouwen constructies. Ze vervangen de TGB-normen NEN 6700 t/m NEN 6790: www.eurocodes.nl.

Cement

Het kennisplatform Cement gaat specifiek over betonconstructies en bestaat al meer dan 65 jaar. Het biedt artikelen, actualiteiten en achtergrondinformatie van en voor constructief ontwerpers en constructeurs in de civiele bouw, woningbouw en utiliteitsbouw: www.cementonline.nl.

VNconstructeurs

De vereniging VNconstructeurs zet zich in voor het vergroten van de constructieve veiligheid in Nederland, door het bevorderen van de rol en waarde van de constructeur in het bouwproces: www.vnconstructeurs.nl.

Voorbeeld: overlagen van stalen bruggen

Uit onderzoek van Rijkswaterstaat is gebleken dat veel stalen bruggen in Nederland kampen met ernstige vermoeiingsproblemen door de sterk toegenomen verkeersintensiteit. Het aanbrengen van een dunne en gewapende overlaging van hogesterktebeton blijkt een duurzame oplossing om de brug te versterken. De betonnen overlaging is bedoeld om de spanning in de stalen draagconstructie van de brug te verminderen, een veilige doorstroming van het wegverkeer te blijven garanderen en de hogere verkeersbelastingen te dragen. De combinatie van specifieke eigenschappen van de betonsamenstelling en de toegepaste uitvoeringsmethode(n) vormden een serieuze betontechnologische uitdaging. Door de kennis van de verschillende partners zoals aannemers en betontechnologen is het gelukt tot een goed resultaat te komen. Meer informatie is te vinden in het rapport HSB-betonoverlagingen op stalen bruggen, met nummer 6742-1-5, uit 2009.

- > In #5. **materiaalarm bouwen** wordt ingegaan op de mogelijkheid om slank te construeren in beton met normale tot ultra-hoge sterkte.

#3

Kiezen
voor
veiligheid

#3

Kiezen voor veiligheid

Voorbeeld: verkeersveiligheid

Het gebruik van betonnen barriers verhoogt de veiligheid voor weggebruikers en wegwerkers. Een botsend voertuig zal de constructie niet of nauwelijks kunnen doorbreken of eroverheen kantelen. Na de aanrijding blijft de werking van de betonnen barriers behouden. Er hoeven nauwelijks reparaties worden uitgevoerd. Verkeers-hinder wordt daarmee tot een minimum beperkt. Barriers kunnen bovendien 100% recyclebaar en met 80% minder CO₂-uitstoot en grijze energie worden uitgevoerd dan concurrerende systemen. Voor meer informatie: www.betoninfra.nl.

- > In #1. **waarde van grondstoffen behouden** is te lezen hoe beton aan het einde van de levensduur van een bouwwerk opnieuw kan worden ingezet.
- > In #7. **een milieubewuste werkplanning** staan rekenvoorbeelden waarin de CO₂-footprint is berekend van verschillende betonmengsels, inclusief wapening, bekisting en transport.



Foto links | Het gebruik van betonnen barriers verhoogt de veiligheid voor weggebruikers en wegwerkers.

Foto rechts | Waterpasserende bestrating.

Voorbeeld: wateroverlast voorkomen

Zware regenbuien zorgen in stedelijke gebieden regelmatig voor wateroverlast met bijbehorende schade. Deze wateroverlast kan met beton worden voorkomen door slimme maatregelen te treffen in het straatwerk en/of door speciale systemen onder de bestrating toe te passen om water op te vangen. Deze maatregelen vergen nauwelijks extra investering in inrichting of onderhoud. Zo kan bijvoorbeeld een verdiepte straat met voldoende hoge betonnen banden het overtollige water tijdelijk op de rijbaan bergen. Veelal wordt dit gecombineerd met waterpasserende/-doorlatende bestrating. De straat heeft dan een dubbelfunctie: verharding en waterbuffer. Er bestaan diverse typen betonproducten, zoals straatstenen, tegels, goottegels en infiltratiebuizen, waarmee gemeentes beschikken over doeltreffende oplossingen voor stedelijk waterbeheer.

Brand!

De eigenschappen van een bouw materiaal zijn van invloed op het ontstaan en op de ontwikkeling van een brand. Beton onderscheidt zich hierbij positief. Betonconstructies bieden in het geval van brand bescherming aan personen, hun eigendommen en aan het milieu. Mits goed ontworpen en uitgevoerd zijn betonconstructies zelfs tegen de meest extreme brandsituaties bestand. Ongeacht of het gaat om woningen, opslagloodsen, tunnels, viaducten of wegen. Een betonconstructie vormt een effectief brandschild en maakt het blussen van een brand eenvoudiger doordat de constructie lange tijd stand houdt. Tevens stopt ze de brandverspreiding door de scheiding in compartimenten en verkleint zo de brandschade en het risico op milieuverontreiniging.

Iedereen in de bouwketen heeft op één of ander wijze te maken met brandveiligheid. In de Europese en nationale wetgeving op het gebied van brandveiligheid staat het redden van mensenlevens centraal. Maar ook moeten mensen worden beschermd tegen schadelijke rook en gassen en moet het draagvermogen van de constructie blijven behouden. Verder vormen de belangen van gebouweigenaren, verzekeringsmaatschappijen en overheidsinstanties een aandachtspunt. Denk daarbij bijvoorbeeld aan economische factoren, gegevensopslag, milieubescherming en instandhouding van infrastructuur.

Beton beschikt over de volgende eigenschappen die het materiaal bijzonder geschikt maken in een brandveilig gebouw:

- beton brandt niet;
- beton heeft een hoge brandweerstand en is (hitte)isolerend;
- beton laat geen gesmolten materiaal druppelen waardoor vuur kan verspreiden;
- beton produceert geen rook of giftige gassen;
- beton beschermt ingestorte materialen tegen brand.

- > Lees ook de Betonplatform-uitgave 'Brandveiligheid, natuurlijk met beton!'



Foto | Op 13 mei 2008 breekt er brand uit in het gebouw van de faculteit Bouwkunde, TU Delft.

#3

Kiezen voor veiligheid

Comfortabel en zuinig in gebruik

GELUIDSISOLATIE | THERMISCH COMFORT | LAAG ENERGIEVERBRUIK

Het is logisch en duurzaam om de kwaliteiten van beton in een bouwwerk, dat technisch gezien zo lang goed blijft, optimaal te benutten. Bijvoorbeeld de massa. Die kan, mits intelligent ontworpen en zorgvuldig uitgevoerd, bijdragen aan een goede geluidsisolatie, een hoog thermisch comfort en een laag energiegebruik. Door de massa van beton thermisch te 'activeren' is nog meer voordeel te behalen.

Geluidsisolatie

In steden is steeds meer verkeer op de weg. Daardoor neemt de geluidsoverlast toe en de beleving van de leefomgeving af. Bovendien heeft het een negatief effect op onze gezondheid. Beteugelen van verkeersgeluid kan het beste bij de bron worden aangepakt; dat wil zeggen het verminderen van het bandengeluid op het wegdek. De toepassing van geluidreducerende ofwel stille wegdekken blijkt een prima optie. Uit onderzoek van CROW is gebleken dat een wegdek met betonstraatstenen in keperverband stiller is dan jarenlang werd aangenomen.

- > Zie de CROW-publicaties 'Handreiking wegdekcorrectie voor elementenverhardingen' en 'Handreiking berekenen wegverkeerslawaai bij 30 km/h', www.strategie.nl.

Geluidsoverlast in woningbouw is een grote bron van ergernis. Met beton zijn woningscheidende constructies mogelijk die prima voldoen aan de geluidsisolerende eisen gesteld in het Bouwbesluit. Voor een verhoogde geluidsisolatie biedt beton goede mogelijkheden. Daarbij zijn twee factoren van belang:

De massa en de stijfheid van de constructie

De massa van de constructie beïnvloedt de directe geluidsoverdracht. Hoe zwaarder de constructie, des te beter de geluidsisolatie. Beton biedt met zijn grote massa een groot voordeel.

De bouwkundige detaillering

Een goede bouwkundige detaillering is noodzakelijk voor het beperken van flankerende geluidsoverdracht en het voorkomen van geluidlekken. In het werk gestorte betonnen casco's hebben geen kieren.

- > In [#5. materiaalarm bouwen](#) wordt juist ingegaan op slanke constructies en hoe daarmee materiaalarm kan worden gebouwd.

#4

Comfortabel
en zuinig
in gebruik



Foto | Straatstenen in keperverband

Thermische massa activeren

Betonmassa is ook thermische massa. Dat wil zeggen dat het vermogen heeft om warmte en koude op te slaan als buffer en later afhankelijk van de ruimtetemperatuur weer af te geven via het materiaaloppervlak. Iedereen kent wel het verkoelend effect van dikke kermuren die hoge buitentemperaturen weren. Naast comfort betekent deze lagere koelbehoefte energiebesparing.

Thermische massa is te activeren met behulp van meegestorte water- of soms luchtvoerende leidingen. Thermische activering van betonconstructies (TAB; ook wel betonkernactivering genoemd, BKA) is een energiezuinige manier om een gebouw te verwarmen en te koelen. Het systeem heeft een hoog rendement in combinatie met een warmtepomp en warmte/koudeopslag. De extra investering in installaties en deskundig advies is meestal al terug te verdienen in 2 tot 7 jaar.

Naast een lage energierekening, levert TAB een goed thermisch comfort. Dit wordt vaak uitgedrukt in het aantal gewogen temperatuuroverschrijdingsuren (GTO), wat een maat is voor het comfort in het gebouw. Hoe oncomfortabeler het gedurende een uur is, hoe zwaarder dat uur meegewogen wordt. Thermisch comfort bevordert de gezondheid van de gebruikers.

#4

Comfortabel
en zuinig
in gebruik

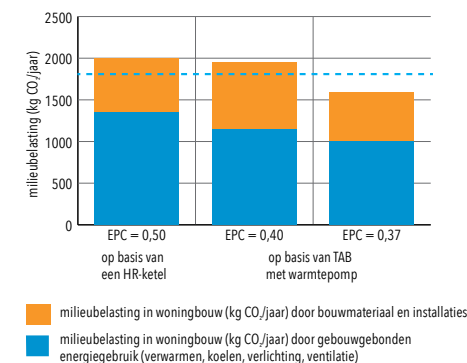
Milieubelasting in woningbouw

In de figuur hiernaast is de milieubelasting in woningbouw (in kg CO₂/jaar) van drie bouwfysische systemen vergeleken:

- op basis van een HR-ketel; EPC = 0,50
- op basis van TAB met warmtepomp; EPC = 0,40
- op basis van TAB met warmtepomp; EPC = 0,37

Onderscheid is gemaakt tussen de milieubelasting door bouwmaterialen en installaties en de milieubelasting door gebouwgebonden energiegebruik (verwarmen, koelen, verlichting, ventilatie).

Let op: deze gegevens zijn niet van toepassing op utiliteitsbouw.



Bron: BKA: robuust én energiezuinig (Cement 2011/4), www.cementonline.nl.

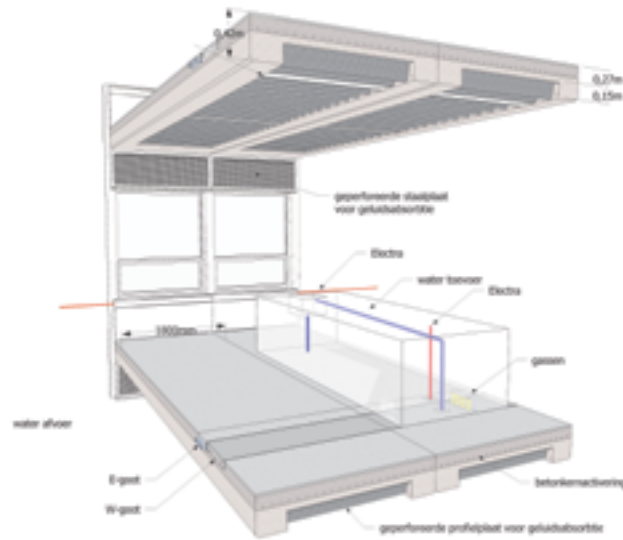
Naarmate de EPC naar beneden gaat, daalt ook de energievraag. Logisch gevolg is dat in verhouding de hoogte van de milieubelasting meer wordt bepaald door bouwmaterialen en installaties. Op termijn verdient deze investering zich terug door een lager energiegebruik en hoger comfort. Naast het gebouwgebonden energiegebruik gebruiken we jaarlijks energie voor apparaten (zoals pc's, tv's en overige elektra in huis). Dit consumptieve gebruik heeft een milieubelasting van circa 1800 kg CO₂/jaar.

Foto en figuur | In het gebouw Orion, Wageningen, zijn architectuur, constructie en installatie slim geïntegreerd.
Foto: Petra Appelhof; figuur: Ector Hoogstad Architecten.



#4

Comfortabel en zuinig in gebruik

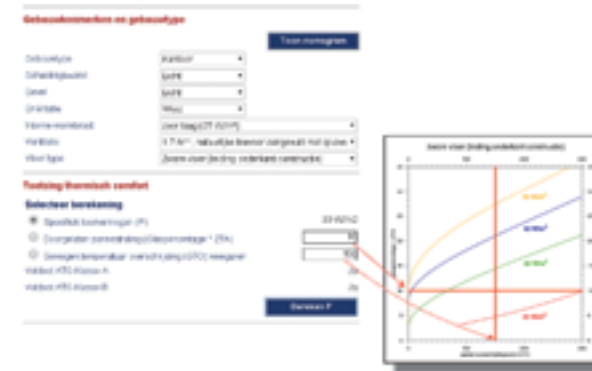


Ontwerptool

De keuze voor klimatisering op basis van TAB moet al heel vroeg in de ontwerpfase aan de orde worden gesteld. Het gaat immers niet simpel over wel of geen leidingen in de vloer, maar om integratie en afstemming van architectuur, constructie en installatie. Zo kan in een vroeg stadium worden bepaald of het gebouwconcept zich leent voor TAB. Om dit te doen en om te bepalen hoeveel thermisch vermogen het beton dan moet afgeven aan de ruimte om een goed comfort te kunnen verkrijgen, geeft CUR-publicatie 237 'Ontwerprichtlijn thermisch actieve gebouwen' richting. In deze

ontwerprichtlijn wordt gekeken naar de behaaglijkheid die met TAB is te realiseren tijdens een zomerperiode.

Daarbij is een handige ontwerptool beschikbaar om het comfort voor vier gebruiksfuncties in te schatten. Deze functies zijn: kantoren, wonen, onderwijs en zorg. Door de gebouwkenmerken in deze ontwerptool in te vullen die van belang zijn voor opwarming/afkoeling, zoals glaspercentage in de gevel, gebouworientatie, interne warmtelast en dergelijke, kan bepaald worden welk energetisch vermogen er nodig is om een comfortabel binnenklimaat te realiseren. Dit wordt gedaan door het product van glaspercentage en ZTA (de zonerende capaciteit van het glas) in te vullen. Bijvoorbeeld: 30% glas x een ZTA van 0,33 = 10%. Ook wordt het gewenste comfort ingevuld. In de praktijk wordt vaak ingevuld: 150 gewogen temperatuurverschrijdingsuren (GTO) per jaar. Vervolgens geeft de ontwerptool een indicatie van het vermogen dat nodig is om de toepassing van TAB haalbaar te maken.



De ontwerptool kan uiteraard iteratief ingezet worden om vast te stellen welke wijzigingen (zoals grootte van de ramen, zonwering, ventilatie, geveloriëntatie, massa gevel en binnenwanden) er nodig zijn om het gebouw beter geschikt te maken voor TAB. Verder geeft de publicatie inzicht in haalbaarheid door variatie in deze ontwerpparameters mogelijk te maken.

- > Op www.cur-aanbevelingen.nl is de CUR-publicatie 237 met de bijbehorende ontwerptool te bestellen.
- > Het boek Thermisch Actieve Gebouwen geeft uitvoerige informatie over dit onderwerp en is te bestellen op www.aeneas.nl/TAG.
- > Voor installatieadviseurs en installatiebedrijven is er de ISSO/SBR-publicatie 801 PGG; P8: Thermisch actieve vloeren - Betonkernactivering (Kennisinstituut voor de installatiesector), www.issso.nl.

#4

Comfortabel en zuinig in gebruik

#4

Comfortabel
en zuinig
in gebruik

Thermische activering van betonconstructies (TAB)

Wat zijn de voordelen?

- lage energierekening, lage CO₂-footprint;
 - minimaal 10% gunstiger dan conventionele systemen met radiatoren;
 - 30-50% minder energiegebruik dan een HR-ketel en een compressie koelmachine;
 - 50-80% minder energiegebruik voor koeling (i.c.m. warmtepomp en warmte/koudeopslag);
 - positief effect op EPC: 0,04 (zonder warmtepomp) tot 0,15-0,25 (met warmtepomp);
- comfortabel en gezond binnenklimaat;
- eenvoudig en uit het zicht te integreren in vloeren en wanden;
- grotere vrije hoogte (geen verlaagd plafond).

Waar moet rekening mee worden gehouden?

- op tijd in het proces de mogelijkheden bespreken met alle bouwpartijen;
- investering in installaties en deskundig advies (terugverdientijd: 2 tot 7 jaar);
- ideaal in combinatie met warmtepomp;
- geschikt voor continu gebruik (verwarmen en koelen gaat wat trager);
- benut TAB zoveel mogelijk door het betonoppervlak vrij te houden (denk aan akoestisch comfort en esthetische kwaliteit);
- beton en installaties zijn bij hergebruik goed te scheiden;
- TAB wordt gewaardeerd in GPR Gebouw via NEN 7120.

Bron: BKA: robuust én energiezuinig (Cement 2011/4), www.cementonline.nl

Foto rechterpagina |
In het nieuwe JuBi
in Den Haag is TAB
toegepast.



#4

Comfortabel
en zuinig
in gebruik

Materiaalarm bouwen

VORMVRIJHEID | SLANK EN STERK | WAPENING | BEKISTING

De vormvrijheid die beton toelaat, biedt mogelijkheden voor duurzame bouwwerken. Naast een mogelijke meerwaarde voor het uiterlijk, is materiaal te besparen door slim te ontwerpen. Daarmee kunnen slankere of meer uitgekende constructies worden gemaakt, met minder wapening en/of bekistingsmateriaal, die dezelfde en soms betere prestaties leveren. Door experts vroeg te betrekken in het ontwerp, is het meeste voordeel te halen op gebied van materiaalbesparing.

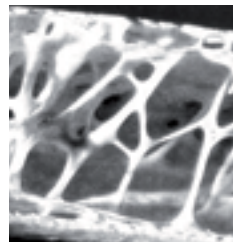
Door de vormvrijheid van beton te benutten, kan materiaalarm worden gebouwd. Dat geldt voor het beton zelf, de wapening en de bekisting. Materiaalarm bouwen past perfect in de duurzaamheidsdefinitie 'people, planet, profit'. Denk aan mooie, slanke vormgeving (people), een lagere CO₂-footprint (planet) en minder kosten voor materiaal, materieel en transport (profit).

Sterk, slank en lichtgewicht

Beton is in vele sterktes samen te stellen, van normale tot (zeer) hoge en ultra hoge sterkte. Op dit moment zijn sterkteklassen tot en met C90/105 opgenomen in de voorschriften Beton (NEN-EN 206/NEN 8005). Nog hogere sterkteklassen zijn ook mogelijk (tabel 3).

normale sterkte beton (Eurocode 2)	tot 105 N/mm ²
(zeer-)hogesterktebeton	105 tot 150 N/mm ²
ultra-hogesterktebeton	150 tot 200 N/mm ²

Met (ultra-)hogesterktebeton (UHSB) kunnen veel slankere bouwdeelen worden geproduceerd dan met beton van normale sterkte. Dit leidt tot een reductie in materiaal en gewicht. Sterker beton heeft echter een hoger gehalte aan cement. Daarom heeft dit beton een hogere CO₂-footprint per m³ dan beton van normale sterkte. Door integraal te kijken naar de CO₂-footprint van een m³ beton, het totaal benodigde volume voor een constructiedeel, de wapening, het transport (gewicht) en de bekisting kan



#5

Materiaalarm bouwen

Tabel 3 | Karakteristieke kubusdruksterkte van normaal tot ultra-hogesterktebeton.

Figuur 3 | 'Sprietkolom' is een studie naar materiaalarm bouwen met UHSB.

Figuur: Peter Heideman.



Foto | Door het gebruik van UHSB heeft deze brug in Rotterdam een lage CO₂-footprint. Foto: Peter Buitelaar.

#5

Materiaalarm bouwen

blijken dat de CO₂-footprint van slanke en UHSB-constructiedelen lager is dan die van beton van normale sterkte. Zo laat een onlangs gerealiseerde brug in UHSB in de gemeente Rotterdam een veel lagere CO₂-footprint zien ten opzichte van een vergelijkbaar ontwerp van de brug met beton van normale sterkte. Dit met behoud van de lange levensduur en onderhoudsvriendelijkheid.

- > Meer informatie over de UHSB brug in de gemeente Rotterdam: www.ultrabridges.com.
- > In #4. **comfortabel en zuinig in gebruik** worden de voordelen van geluidsisolatie en thermisch comfort van juist minder slanke constructies beschreven.
- > In #6. **minder transport, meer transparant** staat wat de betonsector zoal doet om te verduurzamen.
- > In #9. **CO₂-arme cementen** wordt dieper ingegaan op de prestaties van cementen.

Daar waar nodig

Een andere vorm van materiaalarm bouwen is om alleen materiaal daar te plaatsen waar het constructief het meeste nodig is. Denk aan bollenplaatvloeren, kanaalplaatvloeren, of I-liggers, die qua dimensionering erg in de buurt komen van staalprofielen. Deze vormvrijheid hoeft niet alleen tot uiterst functionele ontwerpen te leiden, maar kan ook bijzonder elegant zijn.

Minder wapening

Bij constructies in gewapend beton moeten de wapening en het beton altijd integraal beschouwd worden. De constructieve prestaties zijn immers een gevolg van de perfecte samenwerking tussen beton en staal. Deze efficiënte inzet van beide materialen wordt vaak als vanzelfsprekend ervaren, maar levert een belangrijke bijdrage aan duurzaamheid. Wapening kan aan het einde van de levensduur van

Foto | Bollenplaatvloer.



#5

Materiaalarm bouwen

een bouwwerk bovendien worden teruggewonnen, gerecycled en opnieuw worden gebruikt als wapening. Slanker construeren door toedoen van sterkere betonmengsels vraagt om een aangepast wapeningsontwerp. Dit verband is niet recht-evenredig en vraagt om constructieve expertise.

- > In het Stufib/Stutech-rapport 'Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton – toegespitst op CO₂ (studiecel 61)' uit 2014, hebben constructeurs en aannemers gerekend aan onder meer de CO₂-footprint van enkele constructieve varianten voor een parkeergarage in beton met verschillende sterktes.
- > In #7. een milieubewuste werkplanning staan rekenvoorbeelden waarin de CO₂-footprint is berekend van verschillende betonmengsels, inclusief wapening, bekisting en transport.

Soorten wapening

Er zijn drie manieren te onderscheiden, die ook gecombineerd kunnen worden: met traditioneel betonstaal, met voorspanning, of (minder voorkomend) met staal-, koolstof-, glas- of textielvezels. Verreweg de meest toegepaste vorm van wapening is het gebruik van betonstaal. Voorspanning gebeurt bijvoorbeeld bij kanaalplaatvloeren en bij veel slanke brugliggers. Door stalen voorspanstrengen 'te spannen' wordt beton onder drukspanning gebracht. Voorgespannen beton kan met dezelfde dimensies hogere belastingen aan dan traditioneel gewapend beton. Ofwel, het kan dezelfde belastingen aan met slankere dimensies. Door het gebruik van voorspanning wordt bovendien bespaard op de totale hoeveelheid betonstaal. Slanke constructies in geometrisch uitdagende vormen worden vaak met staalvezels gewapend. In het betonmengsel worden dan kleine stalen 'staafjes', al of niet voorzien van haakjes, homogeen verdeeld.

Betonstaal

Bij gebruik van betonstaal is sprake van goede aanhechting van het staal aan het beton. De thermische uitzettingscoëfficiënten van beton en staal komen goed overeen, waardoor beide materialen door temperatuurinvloeden evenveel van lengte veranderen en er dus geen spanningen van betekenis in de constructie worden opgewekt.

Het grootste deel van de betonconstructies in Nederland is gewapend. Het staal dat wordt toegepast voldoet aan NEN 6008 'Betonstaal'. Voor de verschillende bewerkingen, zoals richten (vanaf de rol recht maken), knippen, buigen en lassen zijn diverse beoordelingsrichtlijnen van toepassing. Betonstaal kan op twee manieren worden geproduceerd: uit ijzererts in hoogovens of uit schroot. In Europa wordt het meeste betonstaal uit schroot geproduceerd, waardoor er optimaal wordt gerecycled. Hoewel voor de productie van staal veel energie nodig is, is het energieverbruik om 1 ton betonstaal te produceren slechts een derde van de energie die nodig is om 1 ton



Foto | Slim vormgegeven dijk-bekleding met 30% gewichtreductie

#5

Materiaalarm bouwen

profielstaal uit ijzererts te produceren. De gemiddelde CO₂-footprint van 1 ton betonstaal bedraagt 1370 kg CO₂-eq (bron: LCA wapeningsstaal, branchestudie Vereniging Wapeningsstaal Nederland).

Bekistingsmateriaal besparen

Door constructiedelen een geometrisch uitgekende vorm te geven, kan beton bespaard worden zonder dat het constructiedeel zijn functie verliest. Hoe moeilijker de vorm, des te ingewikkelder vaak de bekisting. Meer eenvoudige bekistingsvormen lenen zich over het algemeen beter voor seriematige productie. Een integrale benadering van beton, wapening en bekisting is de enige manier om daadwerkelijk materiaal te besparen.

Materiaalarm bouwen

Wat zijn de voordelen?

- minder grondstoffen nodig;
- transportreductie: minder materiaal is minder transport;
- gewichtreductie: een lichtere totale constructie behoeft een fundering met minder constructieve capaciteit.

Waar moet rekening mee worden gehouden?

- slankere constructies vragen om een ander wapeningsontwerp;
- let bij de totale CO₂-footprint van een constructiedeel op het aandeel door toedoen van de wapening en de bekisting;
- de knikbelasting is bij slanke constructies vaak doorslaggevend.

#5

Materiaalarm
bouwen



3D-printen van beton

3D-printen heeft de laatste jaren een flinke vlucht genomen. Tot nu toe worden meestal kunststoffen gebruikt als basismateriaal, maar het 3D-printen van constructieve betonnen wanden op locatie of in een fabriek lijkt een kwestie van tijd. Men richt zich nu vooral op constructieve wanden in de woningbouw en utiliteitsbouw, maar ook niet-constructieve producten zijn mogelijk. In China is aangetoond dat met een nieuwe en zeer grote 3D-printer in één dag tien echte huizen kunnen worden geprint. De huizen hebben elk een vloeroppervlak van 200 m². Alles draait om het materiaal, de hardware en de software. Door te variëren met de printkop verandert de printstructuur of de laagdikte, waardoor verschillende objecten te realiseren zijn. Met 3D-printen is bekistingsmateriaal overbodig.

#5

Materiaalarm
bouwen



Minder transport, meer transparant

TRANSPORT EN LOGISTIEK | BETROUWBAARHEID | DESKUNDIGHEID

Beton is altijd op korte afstand leverbaar. Of er nu uitdagend vormgegeven gevelelementen nodig zijn, of eenvoudige straatstenen, in Nederland zijn de transportafstanden klein en is de dichtheid van betonmortelcentrales en fabrieken van betonproducten hoog. De betonsector streeft naar een transparante bedrijfsvoering. Zo worden afnemers gestimuleerd om bewuste, duurzame keuzes te maken.

Beton altijd dichtbij

De natuurlijke grondstoffen waarmee beton wordt gemaakt (zand, grind, cement, vulstoffen) zijn regionaal in ruime mate beschikbaar. Dat betekent korte transportafstanden en het is bovendien gunstig voor de plaatselijke economie en werkgelegenheid.

- > In #10. **groene winning, schone keten** wordt dieper ingegaan op het verantwoord gebruik en transport van zand, grind en betongranulaat.

Beton kan op twee manieren worden geleverd. Als betonmortel voor in het werk gestort beton (gietbouw), of als geprefabriceerd betonproduct (prefab). Er zijn in Nederland ruim 170 betonmortelcentrales, verspreid over alle delen van het land. Behoudends enkele buitengebieden is er binnen circa 25 km van de bouwplaats een leverancier te vinden. Voor betonmortel is het aandeel aan CO₂-emissie vanwege transport naar de bouwplaats circa 5% van de totale emissie per m³ betonmortel.



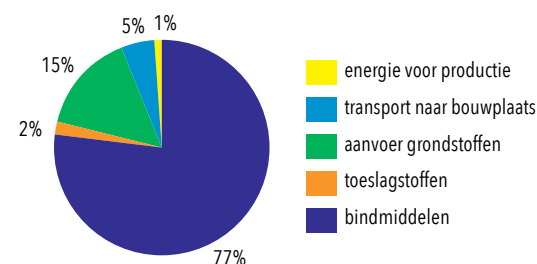
#6

Minder transport, meer transparant

Het verhardingsproces van betonmengsels begint al direct als water aan beton wordt toegevoegd. Dus ook tijdens het transport. De tijd dat het betonmengsel verwerkbaar blijft, kan met behulp van versnellende of vertragende hulpstoffen worden aangepast aan de wensen van de afnemer.

Daarnaast zijn er in Nederland zo'n 200 fabrieken waarin betonproducten worden vervaardigd. Algemeen toepasbare betonproducten zoals straatstenen en tegels worden in veel fabrieken vervaardigd. Sommige prefab-betonproducenten hebben zich gespecialiseerd in specifieke betonproducten zoals lange brugliggers. Gemiddelde transportafstanden van de productielocatie naar de bouwplaats variëren per product van 40 tot 90 km. Het aandeel van het transport van het product naar de bouwplaats in de CO₂-emissie over de gehele levensduur van het betonproduct verschilt per product en per productielocatie en ligt tussen 5 en 10%.

- > In #7. **een milieubewuste milieuplanning** wordt uitgelegd hoe een duurzame uitvoering zo goed mogelijk rekening houdt met de sterkteontwikkeling van beton.
- > In #8. **hulpstoffen voor de juiste prestaties** wordt uitgelegd hoe hulpstoffen kunnen bijdragen aan zowel de verwerkbaarheid als de fysische duurzaamheid van beton.



Figuur 5 | CO₂-footprint van een m³ in het werk gestort gewapend beton (betreft alleen betonmortel).

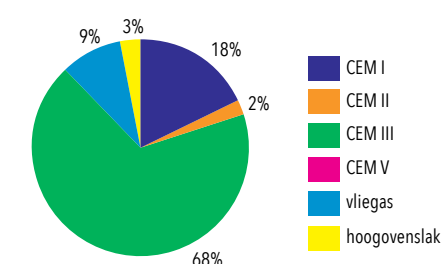
Bron: verslag Beton Bewust, 2013.



Figuur 4 | Betonmortelcentrales met keurmerk Beton Bewust (groen) en fabrieken van betonproducten (blauw).

#6

Minder transport, meer transparant



Figuur 6 | Percentage bindmiddel per gemiddelde m³ beton (betreft alleen betonmortel).

Bron: verslag Beton Bewust, 2013.

#6

Minder transport,
meer transparant

Van alle markten thuis

Beton wordt toegepast in alle bouwsectoren. Zowel in de weg- en waterbouw, woning- en utiliteitsbouw als de agrarische sector. De constructies kunnen variëren van een bestrating tot een viaduct.

- > In **#3. kiezen voor veiligheid** wordt duidelijk dat beton bijdraagt aan veilige bouwwerken die ons beschermen tegen extreme omstandigheden.
- > In **#5. materiaalarm bouwen** worden voorbeelden gegeven van zeer slank vormgegeven constructies, waarmee materiaal is te besparen.

De aard van de constructiedelen, de afmetingen van de bouwdelen, het aantal gelijke elementen (repetitie) en de esthetische kwaliteit van het betonoppervlak (schoonbeton) zijn veelal bepalend voor de keuze: in het werk storten of prefab beton. In veel bouwwerken wordt in het werk gestort beton en prefab beton gecombineerd. Breedplaatvloeren bijvoorbeeld bestaan uit een prefab deel (een dunne betonplaat met wapening) en een in het werk gestorte druklaag daar bovenop. Viaducten bestaan uit in het werk gestorte landhoofden, prefab brugliggers en een in het werk gestorte druklaag.

Voor woning- en utiliteitsgebouwen met veel herhaling in de structuur zijn ook vaak beide bouwsystemen toepasbaar. De keuze ligt dan voor een groot deel bij de uitvoerende partij en is mede afhankelijk van het constructieve ontwerp en de bouwplaatsomstandigheden. Zo kan de montagetijd van prefab op de bouwplaats korter zijn dan de benodigde tijd voor in het werk gestort beton. Daar staat tegenover dat voor prefab rekening moet worden gehouden met de productietijd van de elementen.



Betrouwbaar en deskundig

De betonsector en haar toeleveranciers streven naar een transparante bedrijfsvoering en willen verduurzaming fors stimuleren. Afnemers van beton moeten kunnen rekenen op deskundigheid en betrouwbaarheid in de hele sector.

Beton Bewust

Het keurmerk Beton Bewust van de Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland (VOBN) garandeert de duurzame productie van betonmortel en geeft daarmee zekerheid aan de afnemers van betonmortel. Zij kunnen erop rekenen dat de keurmerkhouders meedenkt, adviseert en een hoogwaardige bijdrage levert aan de duurzaamheid van de te realiseren projecten. Betonmortelfabrikanten mogen het keurmerk alleen voeren als zij voldoen aan strenge eisen ten aanzien van betrouwbaarheid, deskundigheid, duurzaamheid en arbeidsveiligheid. Alle keurmerkhouders zijn extern gecontroleerd op de eisen die zijn gesteld in de bijbehorende branchemeetlat die in de tijd gezien telkens wordt aangescherpt. Meer informatie: www.betonbewust.nl.

Gezonde arbeidsomstandigheden

De gezondheid en veiligheid van medewerkers staat voorop bij alle procesmatige handelingen in de betoncentrales en betonproductiefabrieken. Eén van de ontwikkelingen die de betonindustrie de laatste jaren heeft doorgemaakt is de productie van zelfverdichtend beton (ZVB). Dit is een zeer vloeibaar beton dat na het vullen van de bekisting niet hoeft te worden verdicht. Het betonmengsel vult met zijn eigen gewicht de moeilijkste gaatjes in de bekisting en achter de wapening. De hinder door schadelijk geluid en trillingen in de betonfabrieken en op bouwplaatsen is sindsdien enorm verbeterd.

- > Bekijk de video 'BFBN - Storten van een trap met zelfverdichtend beton' op Youtube.

#6

Minder transport,
meer transparant

Een milieubewuste werkplanning

DRAAIEN AAN DE 'KNOPPEN' KLINKER, TIJD EN TEMPERATUUR

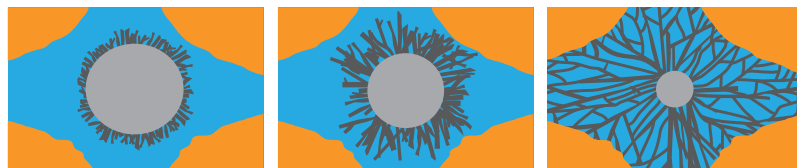
Betonconstructies worden vaak ontworpen op een lange levensduur. Toch is ook tijdens de in verhouding erg korte uitvoeringsperiode milieuwinst te behalen. De sterkteontwikkeling van beton is veelal afgestemd op de in de bouw gebruikelijke dagcyclus. Maar beton wordt in de tijd gezien alleen maar sterker. Een duurzame uitvoering houdt zoveel mogelijk rekening met dit gegeven. Beton dat meer tijd krijgt om te verharden, kan worden samengesteld met een lager klinkergehalte of minder cement en daarmee een lagere CO₂-footprint.

- > In #1. **waarde van grondstoffen** behouden is te lezen hoe beton aan het einde van de levensduur van een bouwwerk opnieuw kan worden ingezet.
- > In #2. **waarde van bouwwerken behouden** is beschreven hoe een lange technische levensduur ook een lange economische levensduur kan worden.

Sterkteontwikkeling

Beton ontwikkelt zijn sterkte door de reactie van water met cement. Daarbij worden cementshydraten gevormd, die zorgen dat toeslagmaterialen (zand en grind) met elkaar worden verbonden. Hoe sneller de cementshydraten worden gevormd, hoe onregelmatiger ze verbindingen maken. Zo kan een beton met een tragere sterkteontwikkeling, en dus een lagere beginsterkte, een hogere eindsterkte hebben.

Beton wordt ingedeeld in sterkteklassen, gebaseerd op de 28-daagse karakteristieke druksterkte, uitgedrukt in N/mm² en bepaald onder geconditioneerde omstandigheden. Van oudsher geldt de 28-daagse sterkte als het moment waarop een betonconstructie de eindsterkte behaalt. Het is nog altijd gebruikelijk om op twee momenten de sterkte van een betonconstructie te toetsen door proefkubussen te drukken, namelijk na 7 dagen en na 28 dagen. Na 7 dagen moet een bepaalde sterkte zijn bereikt en na 28 dagen de gevraagde eindsterkte. Het verhardingsproces stopt dan niet, maar gaat nog geruime tijd geleidelijk door. Daarom wordt tegenwoordig ook gekeken naar 56-daagse en zelfs 91-daagse rekenwaarden. De ontkistingsterkte is uiteindelijk bepalend.



Figuur 7 | Vorming van cementshydraten.

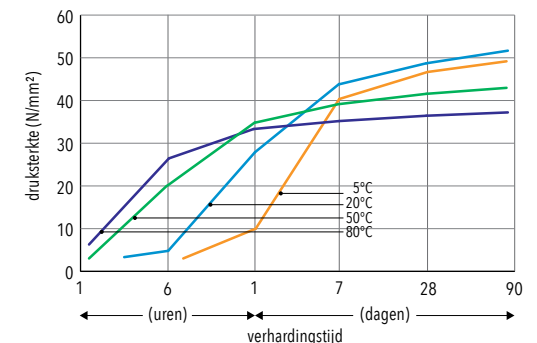
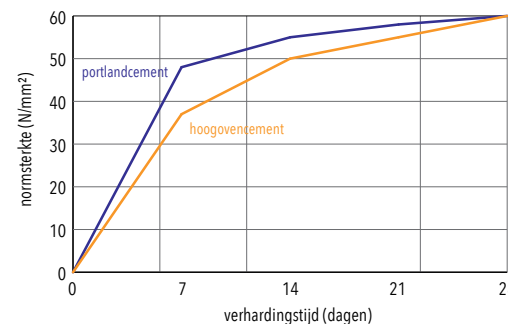
- > In #5. **materiaalarm bouwen** staat beschreven hoe sterke betonmengsels kunnen leiden tot materiaalbesparing.
- > In #8. **hulpstoffen voor de juiste prestaties** wordt uitgelegd hoe hulpstoffen kunnen bijdragen aan de sterkteontwikkeling van beton.

Klinker, temperatuur en tijd

De aanvangsterkte van beton wordt vooral bepaald door het klinkergehalte en de maalfijnheid in cement. In portlandcement (CEM I) is het klinkergehalte hoger dan in hoogovencement (CEM III) en poederkoolvliegascement (CEM II). De CO₂-footprint van beton wordt voor een groot deel bepaald door het klinkergehalte in het cement. Dit feit introduceert een dilemma. Los van andere factoren die een rol spelen bij de keuze voor het te gebruiken cement, zorgt de keuze voor CO₂-arme cementen of het bereiken van een vroege sterkte voor een spanningsveld. Het bepalen van het moment dat de betreffende constructie kan worden ontkist en belast vraagt om goed overleg tussen de betrokken partijen. Van belang is dat zij in een zo vroeg mogelijk stadium van het bouwproces met elkaar in contact treden om samen tot optimale oplossingen te komen.

- > In #9. **CO₂-arme cementen** wordt dieper ingegaan op klinkerarme cementen.

Naast tijd speelt temperatuur een bepalende rol bij de sterkteontwikkeling van beton. Bij hogere temperaturen verloopt deze sneller, echter niet recht-evenredig. In de winter vraagt beton met een bepaalde sterkteklasse en ontkistingstijd om cement met een hoger klinkergehalte dan in de zomer. Niet elke betonsamenstelling reageert even heftig op verhoging of verlaging van de temperatuur. Dit heeft vooral te maken met de verschillen in temperatuurgevoeligheid van de diverse cementsoorten. In plaats van het verhogen van klinkergehalte kan gekozen worden om het moment van ontkisten of belasten van de constructie te verlengen, of om de temperatuur te verhogen door het vers gestorte beton te verwarmen en/of te isoleren.



Figuur 8 | sterkteontwikkeling CEM I en CEM III.

Figuur 9 | sterkteontwikkeling bij hoge en lage betonspecie-temperatuur.

#7

Een milieubewuste werkplanning

#7

Een milieubewuste werkplanning

Ontwerptool 'Groen beton'

Sinds kort is de SBRCURnet-ontwerptool 'Groen beton' beschikbaar. De ontwerptool berekent de milieubelasting van betonnen bouw delen, zoals in de praktijk toegepast. Daarbij wordt rekening gehouden met:

- grondstoffen;
- transport van grondstoffen naar centrale/fabriek;
- productie;
- transport van beton of betonelementen naar bouwplaats;
- constructiefase;
- sloop/afval.

Er wordt geen rekening gehouden met het energiegebruik tijdens de gebruiksfase.

> In #4. [comfortabel en zuinig in gebruik](#) is te lezen hoe beton tijdens de gebruiksfase van een gebouw kan bijdragen aan een lager energiegebruik en hoger comfort.

In de ontwerptool kunnen eenvoudig variabelen worden ingevuld zoals:

- mengsamenstelling (zie verderop 'Rekenvoorbeeld: klinker');
- transportafstanden;
- afmetingen van het betonelement;
- soort wapening;
- warme of koude gietbouw (zie verderop 'Rekenvoorbeeld: temperatuur');
- tijd van ontkisten en belasten (zie verderop 'Rekenvoorbeeld: tijd');
- etc.

De milieubelasting van de ingevulde variabelen wordt vervolgens uitgedrukt in elf milieueffecten die in Nederland worden gebruikt. Deze kunnen grafisch worden weergegeven. De ontwerptool berekent ook de milieukostenindicator (MKI). In de MKI worden de elf milieueffecten uitgedrukt in een fictief geldbedrag. Dit bedrag zou nodig zijn om deze effecten te voorkomen of te compenseren. Hoe hoger het bedrag, hoe schadelijker de gekozen oplossing voor het milieu.

De ontwerptool is een mooi hulpmiddel voor alle betrokken bouwpartijen om inzicht te krijgen en gezamenlijk tot de optimale keuzes te komen. Te bestellen via: www.cur-aanbevelingen.nl.

Draaien aan de knoppen

Het aanpassen van klinkergehalte, betontemperatuur en tijd van ontkisten en belasten vraagt om expertise van de betontechnoloog. Het kunnen overzien van alle gevolgen vraagt immers kennis en ervaring. Hierna worden drie vereenvoudigde rekenvoorbeelden gegeven waarin is gekeken naar de gevolgen voor het milieu als gedraaid wordt aan de 'knoppen' klinker, temperatuur en tijd. Daarvoor is bij de rekenvoorbeelden klinker en temperatuur gebruikgemaakt van de SBRCURnet-ontwerptool 'Groen beton' (zie kader). Het rekenvoorbeeld tijd komt uit het Stufib/Stutech-rapport 'Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton – toegespitst op CO₂ (studiecel 61/23)' uit 2014. Dit laatste voorbeeld is uitvoeriger beschreven in het artikel 'Anders rekenen aan beton' (Betonek Vakblad 2014/2), www.betoniek.nl.

Wat gebeurt er om dezelfde sterkte bij ontkisten/belasten te behouden...?



#7

Een milieubewuste werkplanning

Rekenvoorbeeld: klinker

Aannames:

- verdiepingshoge steektrap met bomen in gewapend prefab beton
- levensduur minimaal 100 jaar
- 2300 kg beton (grotendeels zelfverdichtend beton)
- 73 kg wapening
- voldoet aan eisen Bouwbesluit

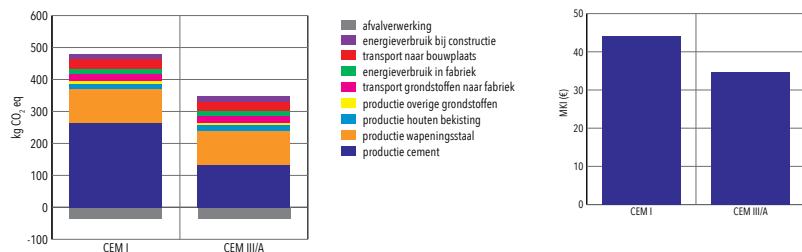
Vergelijking:

- CEM I met CEM III/A

Noot: een trap in CEM III/A vraagt om een productiecyclus die langer zal zijn dan de gebruikelijke dag, die met CEM I wel mogelijk is.

Resultaat:

Zie figuren 10 en 11: links CO₂-footprint (kg CO₂) en rechts MKI (€).



Figuren 10 en 11 | Uitkomsten rekenvoorbeelden klinker.

#7

Een milieubewuste werkplanning



Rekenvoorbeeld: temperatuur

Aannames:

- seriematige gietbouw (ter plaatse gestort beton)
- ontkistingssterkte: 14 N/mm² na 16 uur (gebruikelijk voor eendaagse bouwcycli)
- gemiddelde etmaaltemperatuur: 12 °C
- defaultwaarden van de milieueffecten voor grondstoffen afkomstig uit de Nationale Milieudatabase (regionaal kunnen noemenswaardige verschillen optreden)
- transportafstand: 20 km (gemiddelde truckmixer)
- gasverbruik betoncentrale: 0,25 m³/m³ beton
- elektriciteitsverbruik centrale: 3,9 kWh/m³ beton (groene stroom)
- dieselverbruik werktuigen: 0,2 l/m³ beton
- mengsamenstellingen zoals weergegeven in tabel 4.

grondstoffen	warme gietbouw (kg/m ³)	koude gietbouw (kg/m ³)
CEM I	280	-
CEM III	80	400
zand, zeemateriaal	775	770
grind, zeemateriaal	1075	1040
water	180	170
superplastificeerder	-	2,5

Tabel 4 | Mengsamenstelling warme en koude gietbouw.

#7

Een milieubewuste werkplanning

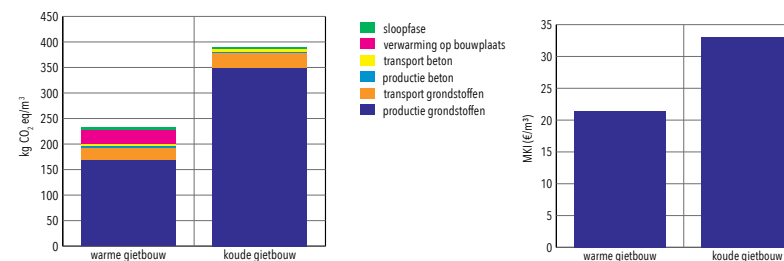
Vergelijking:

- warme met koude gietbouw

Noot: in de warme variant wordt beton tijdens de verhardingsfase extern verwarmd door gasheaters op de bouwplaats; in de koude variant is meer klinkerrijk cement nodig voor dezelfde sterkteontwikkeling.

Resultaat:

Zie figuren 12 en 13: links CO₂-footprint (kg CO₂/m³ beton) en rechts MKI (€/m³ beton).



Figuren 12 en 13 | Uitkomsten rekenvoorbeelden temperatuur.

#7

Een milieubewuste werkplanning

Rekenvoorbeeld: tijd

Een bepaalde betonconstructie is doorgerekend op de totale CO₂-footprint (kg CO₂/m³ beton) bij de opties warme (WG; 206 kg CO₂/m³ beton) en koude gietbouw (KG; 390 kg CO₂/m³ beton). Vervolgens is berekend wat het verlagende effect hierop is wanneer de verhardingstijd met 24 uur wordt verlengd (waarbij aan de constructieve eisen wordt voldaan).

WG: 206 → 131 kg CO₂/m³ beton

KG: 390 → 262 kg CO₂/m³ beton

De milieukostenindicator (MKI) wordt in beide gevallen tot circa 70% gereduceerd.

De daling kan worden verklaard door enerzijds een verlaging van het cementgehalte en anderzijds een verschuiving van het gebruik van CEM I naar CEM III in de gebruikte betonmengsels. In termen van MKI en CO₂-footprint loont het de moeite om te kiezen voor de warme variant en/of gebruik te maken van langere verhardingstijden ('slow concrete') of lagere sterktes. Dit laatste zal uiteraard nader onderbouwd moeten worden op constructief gedrag en veiligheid.

- > In #3. **kiezen voor veiligheid** wordt duidelijk dat beton bijdraagt aan veilige bouwwerken die ons beschermen tegen extreme omstandigheden.
- > In #6. **minder transport, meer transparant** staat wat de betonsector zoal doet om te verduurzamen.

Gewogen rijpheid

Om inzicht te krijgen in het verhardingsverloop van pas gestort beton is de methode van de gewogen rijpheid ontwikkeld. In de praktijk is deze methode betrouwbaar en effectief gebleken om de sterkteontwikkeling van pas gestort (jong) beton te volgen. Bij deze methode wordt de bereikte sterkte van de betonspecie op basis van verhardingstijd en betontemperatuur over vastgestelde meetintervallen berekend, rekening houdend met de temperatuurgevoeligheid van het cement. Inmiddels is deze methode op de meeste Nederlandse bouwwerken ingeburgerd en beschreven in de norm NEN 5970: 'Bepaling van de druksterkteontwikkeling van jong beton op basis van de gewogen rijpheid'. Diverse apparatuur is beschikbaar om het werken met deze methode in de praktijk eenvoudiger te maken.



#7

Een milieubewuste werkplanning

Hulpstoffen voor de juiste prestaties

BETONMENGSELS OP MAAT | VERWERKBAARHEID | FYSISCHE DUURZAAMHEID

Beton krijgt zijn sterkte doordat cement en water met elkaar reageren. Voor een goede verwerkbaarheid van het beton tijdens de uitvoering is een bepaald watergehalte nodig. Voor beton met een goede sterkteontwikkeling en bestandheid tegen invloeden van buitenaf (fysische duurzaamheid), is de verhouding water/cement (de water-cementfactor) van belang. Niet zelden zitten deze eisen aan het beton elkaar een beetje in de weg. Voor de verwerkbaarheid is meer water gewenst; voor de sterkte en fysische duurzaamheid juist minder.

Hulpstoffen worden aan het betonmengsel toegevoegd tijdens het proces waarin zand, grind, vulstoffen, cement en water worden gemengd. Dat gebeurt in kleine hoeveelheden: maximaal 5% van het gewicht van het toegepaste cement. Desondanks hebben ze grote gevolgen voor het verhardingsproces, de fase dat beton verandert van vloeibare (plastische) betonspecie naar verhard beton. Werken met hulpstoffen is daarom secuur werk en vraagt om expertise.

#8

Hulpstoffen voor de juiste prestaties



Flexibele uitvoering

In de verhardingsfase kunnen toegevoegde hulpstoffen, de naam zegt het al, het verhardende beton helpen. Die hulp is gericht op een beter gebruik en betere inzet van het cement in beton. Met hulpstoffen kan bijvoorbeeld:

- het verhardingsproces worden versneld of vertraagd;
- dezelfde verwerkbaarheid van het beton met een lager watergehalte worden bereikt;
- een betere verwerkbaarheid van het beton met hetzelfde watergehalte worden bereikt.

Hulpstoffen dragen bij aan meer flexibiliteit in uitvoeringscycli en -methoden. Korte productiecycli in bijvoorbeeld prefab beton vragen om een beton dat snel verhardt en binnen de gebruikelijke eendagscyclus de vereiste ontkistingssterkte bereikt. Betonmengsels met grote vloeibaarheid maken het verpompen op de bouwplaats eenvoudiger. Met hulpstoffen is zelfverdichtend beton te maken: een zeer vloeibaar mengsel. Hiermee kunnen de arbeidsomstandigheden tijdens de uitvoering worden verlicht (trilnaalden of -motoren zijn namelijk overbodig) en bovendien de vormvrijheid van betonnen elementen en constructiedelen worden vergroot.

Duurzame mengsels

Naast de uitvoeringstechnische voordelen, bieden hulpstoffen duurzaamheidsvoordelen. Beton dat dankzij hulpstoffen minder water behoeft voor dezelfde verwerkbaarheid, krijgt een dichtere structuur en is daarmee beter bestand tegen invloeden van buitenaf. Hierdoor krijgt het beton een langere levensduur en is minder onderhoud nodig. Beton dat dezelfde bestandheid tegen invloeden van buitenaf behoudt, heeft minder water én minder cement nodig. Hierdoor neemt de CO₂-footprint van beton af, ondanks een bepaalde milieubelasting van de hulpstof zelf.

Om te voldoen aan een bepaalde milieuklasse, worden een minimum cementgehalte en maximale water-cementfactor voorgeschreven. Met het terugdringen van de waterbehoefte door toedoen van een hulpstof, moet nog altijd aan die eisen worden voldaan.

- > In **#2. waarde van bouwwerken behouden** is een tabel opgenomen met het minimum cementgehalte en de maximale water-cementfactor per milieuklasse.
- > In **#7. een milieubewuste milieuplanning** wordt uitgelegd hoe een duurzame uitvoering zo goed mogelijk rekening houdt met de sterkteontwikkeling van beton.
- > In **#9. CO₂-arme cementen** wordt dieper ingegaan op de prestaties van cementen.

#8

Hulpstoffen voor de juiste prestaties

#8

Hulpstoffen voor de juiste prestaties

Tabel 5 | Gebruik van hulpstoffen



Overzicht hulpstoffen

Hulpstoffen zijn een vertrouwd bestanddeel geworden van het betonmengsel en worden beschreven in NEN-EN 934-2 'Hulpstoffen voor beton, mortel en injectiemortel'. De Vereniging van fabrikanten en leveranciers van hulpstoffen voor mortel en beton (VHB) houdt jaarlijks bij welke hulpstoffen er worden verwerkt in de betonindustrie (tabel 5). In de tabel is te zien dat met name de superplastificeerders, ook wel aangeduid als PCE's, worden toegepast. Met deze hulpstof kan het watergehalte in het betonmengsel sterk worden verlaagd.

- > In [#5. materiaalarm bouwen](#) staat beschreven hoe sterke betonmengsels kunnen leiden tot materiaalbesparing.

type hulpstof volgens NEN-EN 934-2	standaard dosering t.o.v. het cement	aandeel van de hulpstof in 2012
superplastificeerder	0,8%	77%
plastificeerder	0,4%	12%
luchtbelvormer	0,2%	5%
versneller	1,0%	3%
vertrager	0,2%	1%
andere hulpstoffen *)	-	2%

*) zoals: dichtingsmiddelen, corrosieremmers, kunsthardispersies, pompverbeteraars, krimpbeperkende middelen, stabiliserende hulpstoffen voor colloïdaal beton, impregneermiddelen. Bron: EFCA, 2013.

Voorbeeld: superplastificeerder

Eén m³ beton met 350 kg cement en een water-cementfactor van 0,6 heeft $0,6 \times 350 = 210$ kg water nodig om de juiste verwerkbaarheid te krijgen. Door een superplastificeerder toe te passen met een dosering van 0,8%, kan minimaal 40 kg water worden bespaard. Hierdoor hoeft het mengsel slechts 170 kg water te bevatten voor dezelfde verwerkbaarheid. Omdat de sterkte van het beton voor een belangrijk deel wordt bepaald door de hoeveelheid cement en de water-cementfactor, kan hierdoor circa 20% cement worden bespaard. Uiteraard moet wel worden voldaan aan het minimum cementgehalte behorende bij de betreffende milieuklasse. Natuurlijk kan er dan ook voor worden gekozen om niet het cementgehalte maximaal te verlagen, maar de verwerkbaarheid te verhogen, waardoor er minder verdichtingsenergie nodig is tijdens de verwerking. Hierdoor worden de arbeidsomstandigheden tijdens de uitvoering verbeterd.

Vorst-/dooizoutbestandheid

Veelvoorkomende 'invloeden van buitenaf' waartegen het beton bestand moet zijn, zijn vorst/dooiwisselingen en dooizouten. De bestandheid hiertegen kan worden verbeterd door de toevoeging van heel kleine luchtbelletjes (10 - 300 µm) in het beton. Bij vorst befrist het water dat in de poriën van beton zit. De toegevoegde luchtbelletjes in het beton zorgen ervoor dat het bevroren water kan uitzetten, zonder dat het beton wordt beschadigd. Om de luchtbelletjes homogeen te verdelen in het betonmengsel wordt gebruikgemaakt van een luchtbelvormer.

Het moge duidelijk zijn dat als er lucht zit op plaatsen waar eigenlijk beton hoort te zitten, de betonsterkte lager is. Per 1% lucht (volume) moet namelijk rekening worden gehouden met een sterkteverlies van circa 5 N/mm² na 28 dagen. Om de betonsterkte gelijk te houden, is dan meer cement nodig. Of bijvoorbeeld een superplastificeerder. Kortom, betonmengsels op maat maken is een high-tech operatie.

Water

Water lijkt een eenvoudig onderwerp in het kader van duurzaamheid. Het gebruik van gewoon drinkwater als aanmaakwater voor beton is immers onverdacht, maar drinkwater is relatief duur en vaak kan met ander water ook goed beton worden gemaakt. Daarmee wordt een minder grote aanspraak gemaakt op onze waterbronnen. Vaak wordt daarom ook bronwater, oppervlaktewater of grondwater gebruikt. Zelfs het gebruik van industriewater, spoelwater en cementslibwater zijn na toetsing en goedkeuring toegestaan. NEN-EN 1008:2002 'Aanmaakwater voor beton' geeft richtlijnen voor het gebruik van aanmaakwater voor beton.

#8

Hulpstoffen voor de juiste prestaties

Voorbeeld: luchtbelvormer

Een betonmengsel heeft de volgende eigenschappen:

- sterkteklasse: C35/45;
- vereiste druksterkte na 28 dagen: circa 45 N/mm²;
- minimum cementgehalte van 300 kg/m³;
- vorst- en dooizoutbestendig toeslagmateriaal van behoorlijke sterkte;
- een goede superplastificeerder om de water-cementfactor te kunnen verlagen.

Om het beton bestand te maken tegen schade door vorst/dooiwisselingen wordt een luchtbelvormer toegevoegd. De circa 2 à 3% extra ingebrachte lucht leidt tot een lagere 28-daagse druksterkte (circa 5 N/mm² lager per 1% extra lucht). Om te blijven voldoen aan sterkteklasse C35/45 leert de praktijk dat het raadzaam is het cementgehalte te verhogen naar 320 of 340 kg/m³.

#8

Hulpstoffen
voor de juiste
prestaties

Foto rechts | Park pergola, Máximapark Utrecht, uitgevoerd in schoonbeton volgens CUR-100.

Spoelwater is water dat is gebruikt voor het reinigen van onder andere betonmengers, truckmixers of betonpompen. Cementslibwater is afkomstig van het zagen of schuren van betonproducten. Spoel- en cementslibwater bevatten in het algemeen variabele concentraties zeer fijne deeltjes of resten van hulpstoffen en vulstoffen. Het mag onder voorwaarden worden gebruikt voor gewoon beton en voor gewapend beton. Bij gebruik van dit water in speciale soorten beton, bijvoorbeeld schoonbeton, voorgespannen beton, of beton in chemisch agressieve milieus, moet in het ontwerp-stadium rekening worden gehouden met de invloed hiervan op de eigenschappen van het beton.

- > Direct meer weten over schoonbeton? Raadpleeg CUR-Aanbeveling 100 (schoonbeton) op www.cur-aanbevelingen.nl. Het bijbehorende model-werkplan Schoonbeton is te vinden op www.cementenbeton.nl (zoektermen: werkplan, schoonbeton).
- > Bekijk ook de brochure 'Uitvoering schoon beton' (VOBN), www.vobn.nl.

Optimalisatie van de korrelpakking

Korrelpakking is de mate waarin de grondstoffen in elkaar passen, van millimeters voor grind tot micrometers voor cement. Hoe beter de korrels in elkaar passen, des te beter de pakking en des te minder er holle ruimtes over blijven die moeten worden opgevuld met bindmiddel. Een goede korrelpakking kan dus leiden tot een reductie van het bindmiddel, tot een betere milieuprestatie en een verhoging van de fysische/chemische bestandheid. Een verbeterde korrelpakking heeft ook gevolgen voor de verwerkbaarheid van de betonspecie. Een goed gekozen hulpstof is de basis voor deze verwerkbaarheid.

- > Meer informatie over hulpstoffen: Vereniging van fabrikanten en leveranciers van hulpstoffen voor mortel en beton (VHB), www.vhb-hulpstoffen.nl.



#8

Hulpstoffen
voor de juiste
prestaties

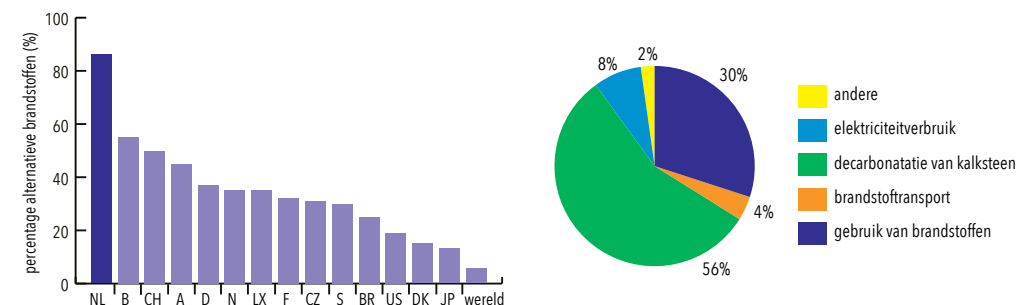
CO₂-arme cementen

KLINKERARME CEMENTEN | PRESTATIES | ALTERNATIEVE BINDMIDDELEN

De meest bepalende component voor de prestaties van beton is cement. Cement, en meer specifiek het klinkergehalte in cement, heeft relatief een hoge CO₂-footprint. Daarom streeft de betonsector al jaren naar gebruik van beton met een zo laag mogelijk klinkergehalte, zonder dat de betrouwbaarheid van het materiaal in het geding komt.

Figuur 14 | CO₂-uitstoot bij cementproductie.

Figuur 15 | percentage alternatieve brandstoffen bij cementproductie (gemiddelde waarde). Bron: Cement&BetonCentrum.



Productie portlandcement (CEM I)

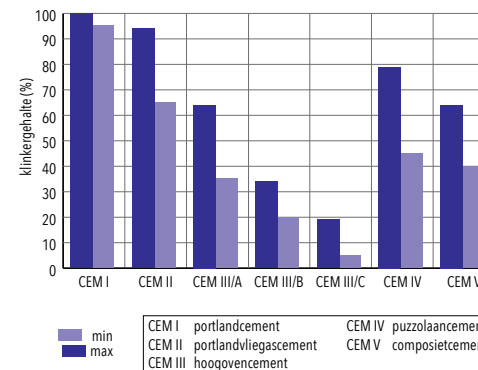
Kalksteen wordt in de oven gebrand tot klinker. Bij dit productieproces komt circa 900 kg CO₂ per ton vrij. Circa 30% daarvan wordt veroorzaakt door brandstoffen. In Nederland lopen we voorop als het gaat om het gebruik van niet-fossiele en vernieuwbare (bio)brandstoffen, samen alternatieve brandstoffen genoemd. Meer dan de helft van de CO₂-uitstoot wordt veroorzaakt door het chemische proces: de kalksteen (CaCO₃) wordt ontleed in vrije kalk (CaO) en CO₂.

Minder klinker

Bijproducten uit andere industrieën, zoals hoogovenslak uit de staalindustrie en poederkoolvliegias uit kolengestookte elektriciteitscentrales, kunnen een groot deel van de klinker in cement vervangen. Hiermee zijn goede, gecertificeerde cementen te realiseren met tot wel 70% reductie in CO₂-uitstoot.

De Europese cementnorm EN 197-1 telt 27 samengestelde cementen, onderverdeeld in vijf hoofdtypen. De indeling van deze cementen hangt samen met het type en gehalte klinkervervangende componenten. Klinker geldt bij al deze samengestelde cementen als basiscomponent. Het klinkergehalte, en daarmee de CO₂-footprint, varieert echter enorm: van 5 tot 100%.

- > In #10. **groene winning, schone keten** wordt dieper ingegaan op de toepassingsmogelijkheden van betongranulaat.



Figuur 16 | Klinkergehalte in Europees cement (in %).

Prestaties van CO₂-arme cementen

Het lijkt verleidelijk om uit oogpunt van duurzaamheid te kiezen voor een cement met een zo laag mogelijke CO₂-footprint per ton. Maar elk type cement heeft zijn specifieke set aan technische eigenschappen. Denk aan de sterkteontwikkeling en fysische duurzaamheid. Een voorgespannen brugligger vraagt een andere set eigenschappen van het cement dan een straatsteen of betonnen wegdek.

De meest duurzame oplossing is om het type cement met de juiste set aan eigenschappen voor de specifieke toepassing te kiezen. De CO₂-footprint kan één van de gevraagde eigenschappen zijn waar meer of minder gewicht aan wordt toegekend. Het verdient aanbeveling gebruik te maken van de expertise van de betontechnoloog, in samenspraak met de constructeur en aannemer.

- > In #2. **waarde van bouwwerken behouden** wordt dieper ingegaan op milieuklassen en hoe beton kan worden gerealiseerd met een extreem lange levensduur en minimaal onderhoud in milde tot agressieve milieus.
- > In #8. **hulpstoffen voor de juiste prestaties** wordt uitgelegd hoe hulpstoffen kunnen bijdragen aan de kwaliteit en daarmee fysische duurzaamheid van beton.

#9

CO₂-arme cementen

#9

CO₂-arme cementen

Waarom klinker?

De component klinker is in alle vijf de hoofdtypen cement in meer of mindere mate aanwezig. Om te begrijpen waarom dat is, is enige chemische basiskennis nodig.

Klinker in CEM I

Klinker heeft een hydraulische functie: in reactie met water vormt het de lijm van het beton en bepaalt de prestaties op het gebied van sterkteontwikkeling en fysieke duurzaamheid.

Poederkoolvliegias in CEM II

Poederkoolvliegias, een bijproduct uit de kolengestookte elektriciteitscentrales, heeft puzzolane eigenschappen. Dat wil zeggen dat het niet reageert met water. Echter, in een kalkrijke en waterige omgeving (hoge pH-waarde), die in CEM II door klinker wordt gecreëerd, vindt wel reactie plaats.

Eigenschappen van beton met portlandvliegascement (CEM II), ten opzichte van beton met portlandcement (CEM I):

- lagere beginsterkte (reactie komt later op gang; de pH-waarde moet eerst stijgen);
- hogere doorgroei van de eindsterkte (na maanden);
- beter bestand tegen chloride-indringing (vanwege een dichtere poriestructuur);
- betere verwerkbaarheid (vanwege het zogenaamde 'rollager'-effect dat het perfect ronde poederkoolvliegias genereert);
- donkerder grijs van kleur.

Hoogovenslak in CEM III

Gegranuleerde gemalen hoogovenslak, een bijproduct uit de hoogovens, heeft latent-hydraulische eigenschappen. Dat wil zeggen dat het heel traag reageert met water. In een kalkrijke en waterige omgeving (hoge pH-waarde), die in CEM III door klinker wordt gecreëerd, wordt deze reactie geactiveerd (versneld).

Eigenschappen van beton met hoogovencement (CEM III), ten opzichte van beton met portlandcement (CEM I):

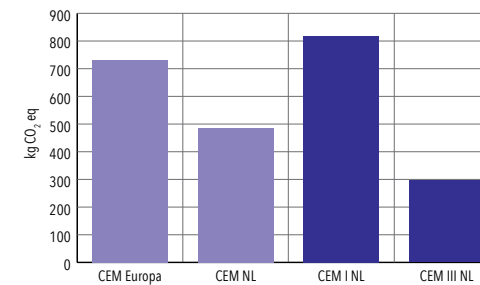
- lagere beginsterkte (reactie komt later op gang);
- meer temperatuurgevoelig;
- beter bestand tegen chloride-indringing (vanwege een dichtere poriestructuur);
- lichter grijs van kleur.

#9

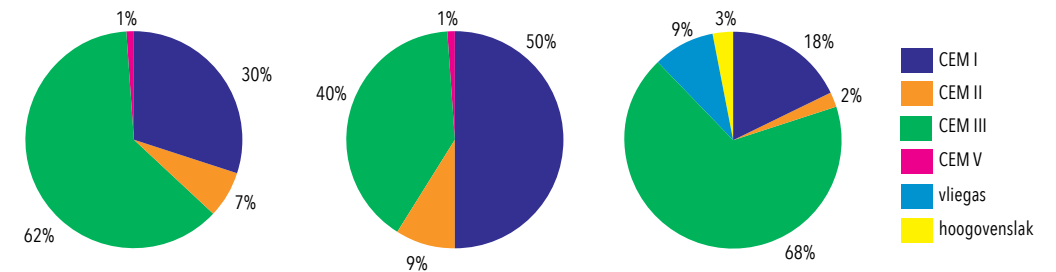
CO₂-arme cementen

Cementgebruik

In Nederland wordt relatief veel met hoogovencement (CEM III) gewerkt. Door het lage klinkergehalte in CEM III is de CO₂-uitstoot significant lager dan die van CEM I (figuur 17). In prefab beton wordt meer gebruikgemaakt van CEM I dan in betonmortel (in het werk gestort beton). Niet verrassend, want over het algemeen vraagt het productieproces van prefab om een beton met een kortere ontkistingstijd en dus een snelle sterkteontwikkeling in de eerste uren. Vaak wordt er gewerkt in gestroomlijnde cycli.



Figuur 17 | Gemiddelde CO₂-footprint van cement in kg CO₂ eq per ton cement. Bron: Nationale Milieudatabase.



Figuur 18 | Cementgebruik naar type cement: a) totaal, b) in prefab beton en c) in betonmortel. Bron: Cement&Beton-Centrum (a en b), verslag Beton Bewust, 2013 (c).

- > In [#5. materiaalarm bouwen](#) staat beschreven hoe sterke betonmengsels kunnen leiden tot materiaalbesparing.
- > In [#7. een milieubewuste werkplanning](#) staan rekenvoorbeelden waarin de CO₂-footprint is berekend van verschillende betonmengsels, inclusief wapening, bekisting en transport.

#9

CO₂-arme cementen

#9

CO₂-arme cementen

Alternatieve bindmiddelen

Het deels vervangen van klinker door hoogovenslak of poederkoolvliegias is geen nieuwe ontwikkeling. We hebben er al meer dan 80 jaar ervaring mee. Tegelijkertijd is het duurzaamheidsdebat de laatste jaren toegenomen. Dit zorgt ervoor dat de vraag naar alternatieve, CO₂-armere bindmiddelen groter wordt. Ontwikkelingen om aan die vraag te voldoen, zijn gericht op het vermijden van klinker of op een andere samenstelling van de gebruikelijke klinkermineralen.

Tot dusver worden alternatieve bindmiddelen nog niet in grote hoeveelheden aan de markt aangeboden. Er is namelijk nog een aantal hindernissen te nemen om tot een milieuvriendelijker alternatief te komen voor de 27 in de Europese cementnorm (EN 197-1) vermelde cementen. Denk aan de beschikbaarheid van grondstoffen op lange termijn, productiekosten, overige eigenschappen van beton (sterkte, verwerkbaarheid, fysische duurzaamheid), het maken van een technologiesprong (extra R&D, aangepaste fabrieksopstellingen) en de mogelijkheden voor hergebruik.

Geén klinker: geopolymer

Een geopolymer is een populaire term voor een diverse groep van bindmiddel-systemen op basis van verschillende grondstoffen zoals calciumaluminaten en silicaten. De gemeenschappelijke noemer van geopolymeren is dat de grondstoffen worden geactiveerd door een krachtige alkalische activator, niet zijnde portlandklinker. Er zijn in Nederland twee verschillende methodes voor de productie van geopolymeren in voorbereiding: één op basis van een onverwarmd proces en één op basis van slak die via een smeltproces is verkregen. Geopolymeren bevatten 0% klinker. Circa 50% CO₂-reductie en een betere bestandheid tegen zuren zijn mogelijk ten opzichte van een portlandcement. Technisch gezien zijn geopolymeren eenvoudig te maken. Het opstijfgedrag is echter nog moeilijk te beheersen. De benodigde activatoren zijn kostbaar en vragen om zorgvuldige veiligheidsmaatregelen bij verwerking. Beton op basis van geopolymeren vraagt om aangepaste rekenregels (het materiaal is brosser). Op korte termijn lijkt een toepassing in alleen niet-constructief beton mogelijk.

Samenstelling klinkermineralen 1: calcium sulfo-aluminaat beliet cement

Calcium sulfo-aluminaat beliet cement (CSA-B cement) is een cement waaraan het klinkermineraal beliet is toegevoegd. Ten opzichte van een portlandcement is hiermee een korter ovenproces mogelijk, bij lagere oventemperaturen. Het gebruik van bestaande en bekende portlandcementovens is mogelijk. Voldoende grondstoffen zijn voorradig voor CSA-B cement. Er is circa 30% CO₂-reductie

mogelijk ten opzichte van een portlandcement. Een sterke initiële sterkte kan worden gecombineerd met een lange levensduur. De mogelijke eindsterktes zijn nog beperkt. Als alternatief voor beliet komt ook het klinkermineraal ternesiet voor. De werking is vergelijkbaar.

Samenstelling klinkermineralen 2: calciumsilicaatcement

Met calciumsilicaatcement (of celiet cement) is tot wel 50% CO₂-reductie mogelijk ten opzichte van een portlandcement. Dit vanwege een samenstelling met minder kalk en meer silicaat. De reactieve kalk zit alleen aan de schil van de cementkorrels (daar waar dit het meeste effect heeft). Naast een geringe alkaliteit van het beton zijn de hoge productiekosten een belangrijk nadeel. In plaats van een ovenproces wordt een autoclaaftechnologie toegepast.

Meer weten?

- > Bekijk de video 'Duurzame ontwikkelingen in cement' op www.cementenbeton.nl (zoektermen: presentaties workshops, duurzaam beton).
- > Lees het rapport 'Handelingsperspectieven verduurzaming betonsector - Resultaten van zeven werkgroepen van het MVO Netwerk Beton' (CE Delft, september 2014), door M. van Lieshout en G. Bergsma.
- > Lees het artikel 'Kan cement zonder klinker?' (Cement 2013/7), www.cementonline.nl.
- > Bestel de SBRCURnet-ontwerptool 'Groen beton', via www.cur-aanbevelingen.nl.
- > Vraag het de technisch voorlichters van cementleveranciers.



#9

CO₂-arme cementen

Groene winning, schone keten

TOESLAGMATERIAAL | BETONGRANULAAT | TRANSPORT EN LOGISTIEK

Een belangrijk streven van de betonsector is gebruik van duurzame grondstoffen. Die moeten op een verantwoorde manier gewonnen en geproduceerd worden. Zand en grind zijn in de wereld ruim voorradig en in combinatie met de winning ervan worden belangrijke maatschappelijke doelen gerealiseerd, zoals waterveiligheid. Gesloopte betonconstructies kunnen uitstekend worden ingezet bij nieuw te vervaardigen beton. Om dat succesvol te doen, zijn een schone keten en een geoptimaliseerd sloopproces en geavanceerde recyclingtechnieken de vereisten.

Met beleid en visie

Het gangbare toeslagmateriaal in beton bestaat uit zand en grind. Dit wordt veelal gewonnen in Nederland, maar komt ook uit onder andere Duitsland en België. Het winnen van zand en grind in Nederland is nooit een doel op zich, maar gaat gepaard met de realisatie van maatschappelijk gewenste doelen. Bijvoorbeeld het vergroten van de rivierveiligheid, realisatie van natuur- en recreatiegebieden en wonen aan het water.

Foto | Het winnen van zand en grind gaat vaak gepaard met het vergroten van de rivierveiligheid of het realiseren van natuur- en recreatiegebieden.



#10

Groene winning,
schone keten

Veel huidige beschermde natuurgebieden in Nederland zijn het gevolg van delfstofwinning in het verleden. De bedrijven die zich hebben aangesloten bij Cascade, de vereniging van zand- en grindproducenten, staan garant voor een duurzame vorm van zand- en grindwinning geformuleerd in een tiental uitgangspunten.

- > Meer weten over duurzame zand- en grindwinning zie: www.cascade-zandgrind.nl/duurzaamheid.

Overheden en natuurorganisaties, zoals Natuurmonumenten, werken nauw samen met het bedrijfsleven om deze meerwaarden voor de maatschappij te realiseren. De winningsprojecten worden zowel door het bedrijfsleven als de overheid geïnitieerd. Programma's als Ruimte voor de rivier en het Deltaprogramma rivieren, voor een grotere rivier- en waterveiligheid, leiden tot vele projecten waarbij veel zand en grind vrijkomt.

Schone keten

In de betonindustrie wordt gestreefd naar circulariteit van grondstoffenstromen. Beton dat vrijkomt bij sloop, wordt nuttig hergebruikt als secundair toeslagmateriaal (betongranulaat). Een belangrijk uitgangspunt voor circulair gebruik van grondstoffen voor beton is om zo te ontwerpen dat grondstoffen aan het einde van de levensduur van beton eenvoudig kunnen worden teruggewonnen. Voor een optimaal hergebruik moeten de teruggewonnen grondstoffen de kwaliteit van het nieuwe beton niet nadelig beïnvloeden. Daarvoor geldt: hoe schoner de keten, des te minder bewerkingsstappen er nodig zijn om tot de gewenste kwaliteit betongranulaat te komen. Deze kwaliteit wordt geborgd door BRL 2506 'Recyclinggranulaten voor toepassing in GWW-werken en in beton'.



Foto | Betongranulaat onder asfaltweg.

#10

Groene winning,
schone keten

- > In **#1. waarde van grondstoffen behouden** wordt dieper ingegaan op de circulariteit van grondstoffenstromen in de betonketen.

Optimale mix

Hoge percentages granulaat als grindvervanger toepassen in beton is technisch gezien steeds vaker mogelijk. Echter, uit oogpunt van duurzaamheid is een optimale mix van primair en secundair toeslagmateriaal beter. Dit heeft te maken met de

duurzame toepassing van betongranulaat in de wegenbouw, transport, wijze van inzameling en daarmee samenhangende verontreiniging en de extra water- en daarmee cementbehoefte van sommige granulaten in het betonmengsel.

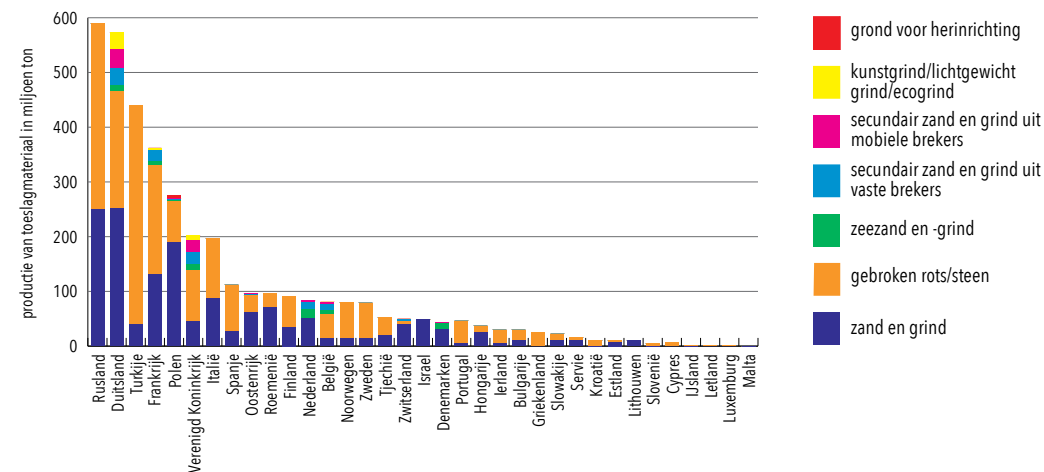
Toepassing van betongranulaat

Betongranulaat wordt nu hoofdzakelijk als ongebonden funderingsmateriaal gebruikt in de wegenbouw, meestal in de vorm van menggranulaat (een mengsel van betongranulaat en metselwerkgranulaat). Het betongranulaat heeft een hydraulische werking: in reactie met water verhardt het. Hierdoor ontstaat een zeer goede fundering, waardoor de vervolgens aan te brengen laag asfalt dunner kan zijn, een belangrijk duurzaamheidsaspect in de wegenbouw.

Enkele brancheverenigingen, waaronder Cascade, hebben gezamenlijk een inventarisatie naar primaire en secundaire grondstoffenstromen van de afgelopen jaren uitgevoerd. Uit deze inventarisatie blijkt dat er in Nederland in totaal circa 12 miljoen ton betonpuin per jaar aan bouw- en sloopafval beschikbaar komt. Theoretisch kan van deze 12 miljoen ton tot circa 6 miljoen ton gescheiden worden ingezameld, waarvan na het breekproces circa 50% (3 miljoen ton) geschikt is als grof toeslagmateriaal voor toepassing in nieuw beton. De totale vraag naar grof toeslagmateriaal voor de productie van beton is 14 miljoen ton per jaar. In theorie kan betongranulaat dus gemiddeld circa 20% ($\frac{3}{14}$) grind vervangen in beton. Los van de beschikbaarheid wordt de werkelijk gebruikte hoeveelheid betongranulaat in beton in de praktijk veelal bepaald door de gewenste toepassing van het product of bouwdeel. Zo is er bij de productie van schoonbeton vrijwel geen betongranulaat toegestaan in verband met hoge eisen aan de oppervlaktekwaliteit. In producten als bestratingsmaterialen kunnen wel hoge percentages worden gebruikt, met name in de onderlaag van deze producten. Productietechniek, esthetische wensen, kwaliteit van het beton en de beschikbaarheid van het juiste betongranulaat bepalen de uiteindelijke hoeveelheid die wordt toegepast.

Volgens NEN 8005:2014, de Nederlandse invulling van NEN-EN 206 'Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit', kan regulier betongranulaat het natuurlijke grove toeslagmateriaal tot maximaal 30% vervangen in alle milieuklassen en zonder aanpassing van de rekenwaarden. In CUR-Aanbeveling 112 'Beton met betongranulaat als grof toeslagmateriaal' staan aanbevelingen voor het omgaan met vervangingspercentages tot 50%, of onder voorwaarden zelfs 100%.

- > Meer weten over schoonbeton? Raadpleeg CUR-Aanbeveling 100 (schoonbeton) op www.cur-aanbevelingen.nl. Het bijbehorende model-werkplan Schoonbeton is te vinden op www.cementenbeton.nl (zoektermen: werkplan, schoonbeton).
- > Bekijk ook de brochure 'Uitvoering schoon beton' (VOBN), www.vobn.nl.



Andere granulaten

Naast betongranulaat worden ook gerecycled spoorbalast, ecogranulaat en AEC-granulaat toegepast in beton, waarbij AEC-granulaat hoofdzakelijk in niet-constructief beton.

Transport

Bij de productie van de grondstoffen vormt transport een substantieel deel van de milieubelasting. Bepalend voor duurzaam beton is dan ook de transportafstand en dus de beschikbaarheid van primaire en secundaire grondstoffen in de regio.

Het motto luidt: beperk het transport van de grondstoffen - primair, maar óók secundair - zoveel mogelijk, bepaal tijdig in het bouwproces welke grondstoffen in de regio beschikbaar zijn en zet deze zo optimaal mogelijk in. Het is maatwerk.

- > In **#6. minder transport, meer transparant** wordt ingegaan op het transport vanaf de centrale of fabriek naar de bouwplaats.
- > In **#7. een milieubewuste werkplanning** staan rekenvoorbeelden waarin is gekeken naar de CO₂-footprint van beton, wapening, bekisting en transport.
- > In het Verenigd Koninkrijk blijkt dat secundaire grondstoffen een hogere milieubelasting hebben dan primaire grondstoffen wanneer de transportafstand boven de circa 15 km komt. Bron: brochure 'Specifying Sustainable Concrete' (MPA The Concrete Centre), te downloaden op www.concretecentre.com.

Figuur 19 | Productie van toeslagmateriaal in miljoen ton per land en type.

Bron: UEPG Annual Review 2013-2014, European Aggregates Association.

#10

Groene winning, schone keten

#10

Groene winning, schone keten

Recyclingtechnieken in ontwikkeling

Om de kwaliteit van betongranulaat verder te verbeteren, wordt gewerkt aan ontwikkelen van geavanceerde recyclingtechnieken. Onderstaand een tweetal technieken die in ontwikkeling zijn.

Elektrodynamische fragmentatietechniek

Bij elektrodynamische fragmentatie worden stroomstoten gestuurd door het beton terwijl het is ondergedompeld in water. Deze stroomstoten, die korter zijn dan $1/500$ nanoseconde, gaan niet door het water maar door de scheidingsvlakken tussen de bestanddelen. Door de hoge drukken die daarbij ontstaan, worden de materialen uit elkaar gedrukt in schoon zand, grind en cementsteen (als reactieproduct van cement en water). Deze methode is al in de jaren veertig van de vorige eeuw ontwikkeld door Russische wetenschappers, maar is voor beton nooit eerder toegepast. Onderzoekers van het Fraunhofer Gesellschaft in Duitsland en Selfrag in Zwitserland zijn bezig met het verbeteren van deze techniek.

Slim breken

Het proces van slim breken is gericht op de zwakste schakel: de cementsteen. Cementsteen is zwakker dan zand en grind. Door onder een zekere druk betongranulaat afschuivend te belasten, kan het worden teruggebracht tot de samenstellende delen: zand, grind en cementsteen. Vervolgens zijn deze oorspronkelijke bestanddelen, met een combinatie van zeeftechnieken, van elkaar te scheiden. Zand en grind zijn zo weer in het productieproces van beton terug te brengen. Het heeft zelfs voordelen omdat het materiaal aan het oppervlak iets is geëtsd en er gemakkelijker hechting ontstaat met nieuw cement, waardoor er sterkte winst ontstaat. Reductie van cement behoort daardoor tot de mogelijkheden. Vrijgemaakt cementsteen, 15 tot 20% van de oorspronkelijke massa, kan op verschillende manieren worden ingezet. Onder andere als vervanger van kalksteenmeel om betonmengsels te optimaliseren. Daarnaast kan cementsteen thermisch worden behandeld en weer worden benut voor de cementproductie.

Meer weten?

- > Bekijk de video 'Opmaat naar C2C-beton' op www.cementenbeton.nl (zoektermen: presentaties workshops, duurzaam beton).
- > Lees het artikel 'Slim breken sluit materiaalkringloop' (Cement 2013/4), www.cementonline.nl.
- > In #9. CO₂-arme cementen staat hoe poederkoolvliegias en hoogovencement de CO₂-footprint van cement flink kunnen verlagen.

#10

Groene winning,
schone keten



#10

Groene winning,
schone keten

Colofon

#duurzaambeton – trending topics is geïnspireerd op de brochure 'Specifying Sustainable Concrete' van MPA The Concrete Centre (UK).

#duurzaambeton – trending topics is verkrijgbaar bij de leden van het Betonplatform:

- BFBN, www.bfbn.nl
- Cascade, www.cascade-zandgrind.nl
- Cement&BetonCentrum, www.cementenbeton.nl
- VHB, www.vhb-hulpstoffen.nl
- VOBN, www.vobn.nl

De uitgave is tevens verkrijgbaar bij uitgeverij Aeneas, www.aeneas.nl

Een interactieve digitale versie is beschikbaar op bovenstaande websites van de leden van het Betonplatform. Hierin zijn de interne en externe verwijzingen naar relevante informatie opgenomen.

© Betonplatform, november 2014

Redactie

Coen Smets, Cement&BetonCentrum
Gert Hendriks, VHB
Henk Schuur, BFBN
Leonie van der Voort, Cascade
Màrie van der Poel, VOBN

Eindredactie

Coen Smets, Cement&BetonCentrum

Ontwerp en lay-out

Natasja Steenbergen, Cement&BetonCentrum

Drukwerk

VDB Almedeon, Oisterwijk

Uitgave

Betonplatform
info@cementenbeton.nl

ISBN 978-90-71806-00-1

#duurzaambeton
trending topics



Foto: Rob Versluys

#duurzaambeton – trending topics is een uitgave van het Betonplatform,

bestaande uit de Nederlandse brancheverenigingen:

- BFBN (Bond van Fabrikanten van Betonproducten in Nederland), www.bfbn.nl
- Cascade (vereniging van zand- en grindproducenten), www.cascade-zandgrind.nl
- Cement&BetonCentrum (vereniging van Europese cementindustrieën met een commercieel belang op de Nederlandse markt), www.cementenbeton.nl
- VHB (Vereniging van fabrikanten en leveranciers van Hulpstoffen voor mortel en Beton), www.vhb-hulpstoffen.nl
- VOBN (Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland), www.vobn.nl

Het Betonplatform stimuleert de verduurzaming van de hele betonsector en wil nadrukkelijk niet alleen als afzender van deze publicatie worden gezien. De hele betonsector staat voor u klaar en helpt u graag bij het realiseren van uw duurzaamheidsambities.



Beton speelt een belangrijke rol in een duurzame samenleving. Door zijn veelzijdigheid biedt het vele mogelijkheden voor duurzaam bouwen. Deze vele mogelijkheden maken duurzaam bouwen met beton wel complex. Er is geen standaard oplossing voor het beste resultaat. Overheid, opdrachtgever, gebruiker, architect, constructeur, aannemer, installateur en alle andere adviseurs hebben samen heel wat keuzes te maken in alle fases van het bouwproces.

Hoog tijd voor een helder overzicht voor alle partijen die duurzaam willen bouwen. Uiteraard met beton! In deze publicatie worden veelgehoorde onderwerpen van discussie geschetst:

- **het bouwen voor nu én straks** (circulaire economie, levensduur, veiligheid);
- **het optimaal benutten van kwaliteiten** (comfort, energie-, materiaalgebruik);
- **een uitvoering op maat** (transport, milieubewuste werkplanning, optimale betonmengsels) én
- **een verantwoord grondstoffengebruik** (CO₂-footprint, recycling).

Overwegingen en handvatten worden gegeven waarmee u zich beter gewapend mengt in deze discussies en bewuste keuzes maakt voor uw specifieke project.

De publicatie is zo opgezet dat de diverse onderwerpen onderling zijn gelinkt.

Daarmee is de leesvolgorde vrij. Immers, hoe 'trending' een topic is, is voor ieder weer anders.

#duurzambeton – trending topics is een uitgave van het Betonplatform, bestaande uit de Nederlandse brancheverenigingen:

- BFBN (Bond van Fabrikanten van Betonproducten in Nederland), www.bfbn.nl
- Cascade (vereniging van zand- en grindproducenten), www.cascade-zandgrind.nl
- Cement&BetonCentrum (vereniging van Europese cementindustrieën met een commercieel belang op de Nederlandse markt), www.cementenbeton.nl
- VHB (Vereniging van fabrikanten en leveranciers van Hulpstoffen voor mortel en Beton), www.vhb-hulpstoffen.nl
- VOBN (Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland), www.vobn.nl

Het Betonplatform stimuleert de verduurzaming van de hele betonsector en wil nadrukkelijk niet alleen als afzender van deze publicatie worden gezien.

De hele betonsector staat voor u klaar en helpt u graag bij het realiseren van uw duurzaamheidsambities.