



Techniek

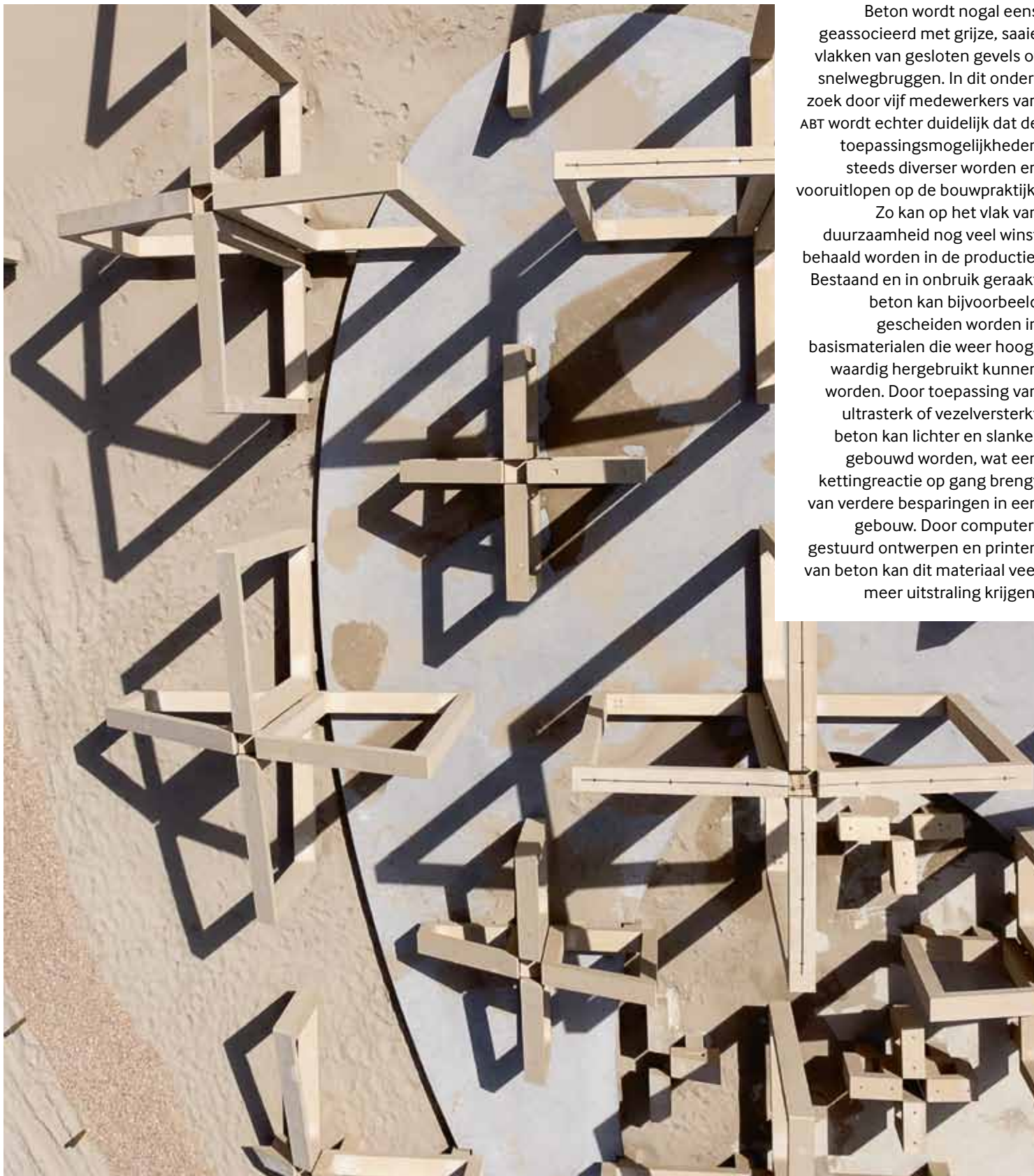
Groei in mogelijkheden voor kameleontisch materiaal

Foto Hans Elbers, Fotovlieger

*Kunstwerk van beton 'Zandwacht' op de Tweede Maasvlakte,
ontworpen door Observatorium, Rotterdam*

Beton wordt nogal eens geassocieerd met grijze, saai vlakken van gesloten gevels of snelwegbruggen. In dit onderzoek door vijf medewerkers van ABT wordt echter duidelijk dat de toepassingsmogelijkheden steeds diverser worden en vooruitlopen op de bouwpraktijk.

Zo kan op het vlak van duurzaamheid nog veel winst behaald worden in de productie. Bestaand en in onbruik geraakt beton kan bijvoorbeeld gescheiden worden in basismaterialen die weer hoogwaardig hergebruikt kunnen worden. Door toepassing van ultrasterk of vezelversterkt beton kan lichter en slanker gebouwd worden, wat een kettingreactie op gang brengt van verdere besparingen in een gebouw. Door computer-gestuurd ontwerpen en printen van beton kan dit materiaal veel meer uitstraling krijgen.



De toekomst van beton

Beton ontwikkelt door, wie doet mee?

Beton is zo oud als de weg naar Rome. Toch is het, met grotendeels dezelfde componenten, veruit het meest toegepaste bouw materiaal in onze moderne wereld. Volgens ABT is de ontwikkeling van het materiaal nog maar net begonnen. Of het als esthetisch materiaal overleeft, hangt af van het luisterend vermogen van de branche.

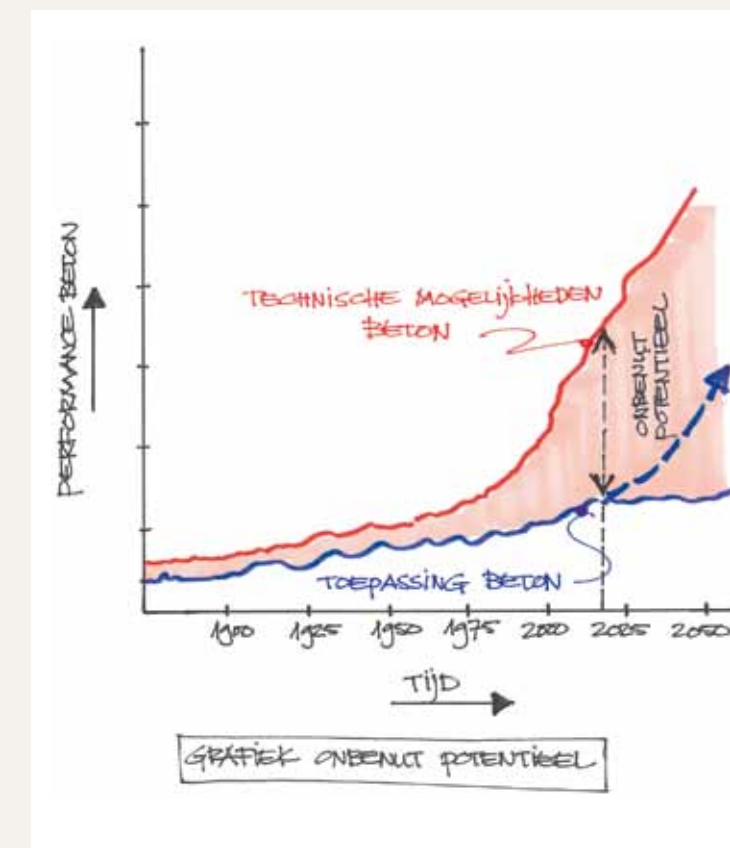


Zandwacht op de Tweede Maasvlakte

Tekst

Frank Hofmans
Frank Huijben
Michaël Menting
Ronald Wenting
Theo van Wolfswinkel

Beton is een kameleon. Met de verscheidene grond-, hulp- en vulstoffen zijn er oneindig veel toepassingsmogelijkheden. Onder water als massamateriaal, in civiele constructies, maar ook als esthetisch materiaal. Elk beton is het resultaat van een proces van ontwerpen en keuzen maken, grondstoffen winnen en mengen, mengsels optimaliseren, mallen bouwen, storten en verharderen. Elk betonmengsel is uniek, er zijn 1001 toepassingen. Gecombineerd met de lage kostprijs en de grote beschikbaarheid van de grondstoffen maakt dit beton populair. Maar er kan nog veel meer dan we nu doen. De kwaliteit en de toepassingen in de laboratoria lopen ver vooruit op de toepassing in de huidige bouw. Maakt de betonbranche eigenlijk wel voldoende zichtbaar wat er kan? Krijgt beton het imago dat het verdient? Er liggen in elk geval legio kansen, ook voor beton als esthetisch materiaal. Beton is een integraal materiaal. Het komt tot stand door een samenspel van partijen die de eigenschappen beïnvloeden. In Nederland zijn bij elk beton element minimaal vijftien partijen betrokken. Logisch dat de kwaliteit grotendeels wordt bepaald door de afstemming tussen deze partijen, naast temperatuurs- en weersinvloeden. Veel ontwikkelingen in beton borduren voort op het verleden, zoals Ultra Hoge Sterkte Beton (UHSB) en de doorontwikkeling van vezelbeton. Er zijn echter ook ontwikkelingen van buitenaf die nieuwe impulsen geven. Denk hierbij aan het printen van beton en het computergestuurd ontwerpen en optimaliseren van constructies. Dit geeft nieuwe mogelijkheden in de uitstraling van beton. Vrije vormgeving ligt binnen handbereik. Met het printen van beton kan voorts worden ingezet op overlastvrij bouwen. Vanuit duurzaamheid wordt sterk gestuurd op CO₂-reductie, wat gevolgen heeft voor cement als bindmiddel. De



vraag stijgt naar beton met granulaat (wat al decennia maakbaar is). Ook geeft duurzaamheid een nieuwe impuls aan het scheiden van beton in zijn basismaterialen, wat hoogwaardig hergebruik mogelijk maakt. Daarnaast wordt gewerkt aan zelfherstellend beton, waarin scheuren worden gedicht door meegestorte bacteriën. Hier ligt misschien nog wel een andere sleutel voor de toekomst. Want wat kunnen we meestorten om het materiaal interactief te maken? Sensoren en actuators bijvoorbeeld, die de constructie upgraden tot een 'smart' onderdeel van de domotica en deze verbindt met het internet ('the internet of things'). Een belangrijke mogelijkheid voor een verbeterd comfort en gebruiksgemak. Het verschil tussen de mogelijkheden van beton in het lab en in de praktijk wordt steeds groter. De sterkteontwik-

keling is hier een goed voorbeeld van, met sterkten die in het lab tot twintig keer zo hoog zijn als in de huidige bouwpraktijk. Dit laat zien dat het materiaal nog veel potentie heeft. Ook de ontwikkeling van bijvoorbeeld translucent beton wordt nog niet opgepakt door de markt. Het zou goed zijn als de betonindustrie zich afvraagt waarom. Is er eigenlijk wel behoefte aan? Het is trouwens van meer onderzoeken de vraag welke behoefte ze willen invullen. En dit leidt terug naar de kernvraag: wat is de toekomst van beton? In onze ogen wordt deze bepaald door de gebruikers van de toekomst. Wij denken dat beton, juist door de mogelijkheden van het meemixen van nieuwe ingrediënten en het doelspecifiek aanpassen van het mengsel, nog een gouden toekomst tegemoet gaat.

Feniciërs

De eerste toepassing van 'beton' stamt uit de tijd van de Feniciërs en later de Romeinen, op basis van kalk en puzzolane (vulkanische) as. Na eeuwen van stilstand kwam de toepassing van beton begin vorige eeuw in een versnelling door de uitvinding van gewapend beton.

Gewapend beton

Met gewapend beton kon wezenlijk anders worden geconstrueerd, met Nederlandse iconen als de Van Nellefabriek, sanatorium Zonnestraal en Radio Kootwijk als resultaat. Dit leverde mooie betonarchitectuur op, met paddestoel-vloeren en verlopende doorsneden. Na de oorlog was beton een dankbaar wederopbouw materiaal, als impuls voor grootschalige woningbouw en de bouw van kunstwerken in het zich uitbreidende hoofdwegenet.



Van Nellefabriek, Rotterdam

Waarom slopen als hergebruiken prima kan?

Structurele gebouwaanpassingen zijn door de samenstelling van betonconstructies vaak complex en daardoor kostbaar. Sloop-en-nieuwbouw lijkt dan een gemakkelijkere weg naar de realisatie van een eigentijds gebouw. Maar waarom zou je een betonskelet in goede conditie slopen? Een goed ontworpen betonconstructie gaat tenslotte lang genoeg mee. Een betonconstructie is vaak prominent aanwezig en kan bij gebouwaanpassingen worden ervaren als een keurslijf. In de verbouwplannen staan de kolommen of wanden niet altijd op de gewenste plek, zijn de balken te hoog of is er te weinig licht in de ruimten. Respect en begrip voor de bestaande constructie kan echter tot mooie ontwerpen leiden, waarbij de sociale en culturele waarde en bouwtechnische kwaliteit van bouwwerken behouden kunnen blijven. Het is bovendien

financieel aantrekkelijk en duurzaam. Door recente ontwikkelingen in de techniek nemen de mogelijkheden voor hergebruik toe. Met lijmwapening kan de constructieve capaciteit bijvoorbeeld eenvoudig worden verhoogd. Dat maakt flinke aanpassingen in het beton-

skelet mogelijk, of hogere belastingen, waardoor de indeling van het gebouw kan worden verbeterd, of er een optop kan worden geplaatst. Een andere variant is het hergebruik van elementen volgens de Industriële, Flexibel en Demontabel (IFD) principes,



Lijmwapening kan oude betonskeletten versterken.



dus zonder natte verbindingen. Bij het ontwerpen van bruikbare, uniforme elementen zijn goede oplossingen voor de verbindingen essentieel. Hier ligt een belangrijke taak voor ontwerpers, die bij het ontwerp al rekening moeten houden met de sloop ervan: 'design for recycling'. Een dergelijke bouwwijze biedt eveneens kansen voor leveranciers van betonproducten. Met leaseconstructies worden producten na de levensduur van het gebouw teruggenomen om ze vervolgens opnieuw aan te bieden of te recyclen. De producten worden dan voor gebruik aangeboden en producenten blijven eigenaar van hun producten en grondstoffen. Door de grondstoffen uit oude betonconstructies te gebruiken in nieuwe betonconstructies kan de keten naar de toekomst toe worden gesloten. Betonconstructies kunnen in dat geval worden gezien als grondstoffenbanken voor de eigen industrie. Nieuwe recyclingstechnologieën zoals de 'smartcrusher' (de zogenaamde slimbreker) zullen hierin nieuwe mogelijkheden gaan bieden. Met dit apparaat is het technisch mogelijk om bij de sloop van een gebouw uit het betonpuin het grind, zand en cement separaat terug

te winnen. Het terugwinnen gebeurt daarbij op een slimme manier van breken: niet zoals traditioneel dwars door het zand en grind, maar breken door het cementsteen. De teruggewonnen grondstoffen kunnen dan weer worden ingezet voor een nieuw leven. Kortom, de cirkel is rond. De mooiste variant zou zijn als beton flexibel gemaakt zou kunnen worden. Het vermogen zou hebben om 'om te vormen' naar een nieuwe gewenste vorm. Bij gebouwaanpassingen kan de constructie daar in no-time dan op anticiperen en sloop van het hele of gedeeltelijke gebouw zijn dan niet meer aan de orde. Als samengesteld materiaal moet dit mogelijk zijn, maar het klinkt nu nog als verre toekomst.

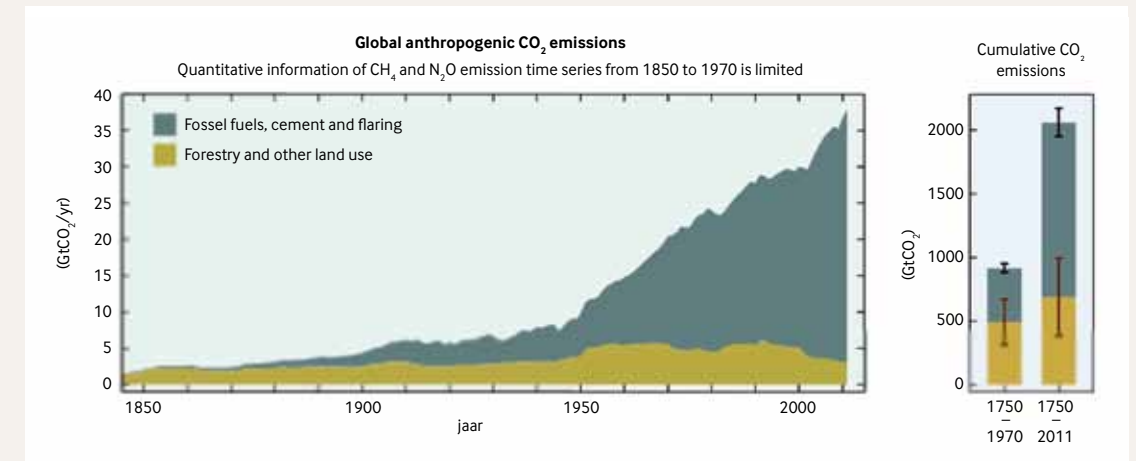
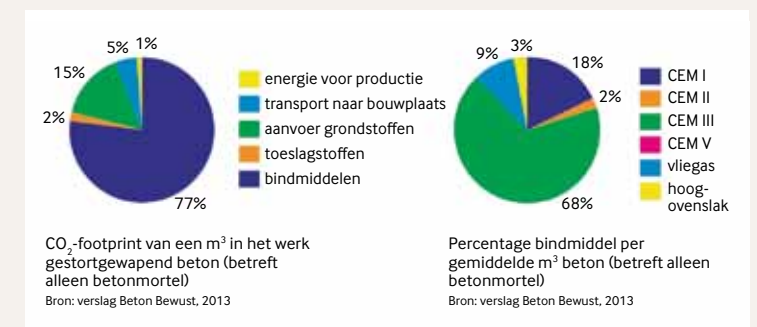
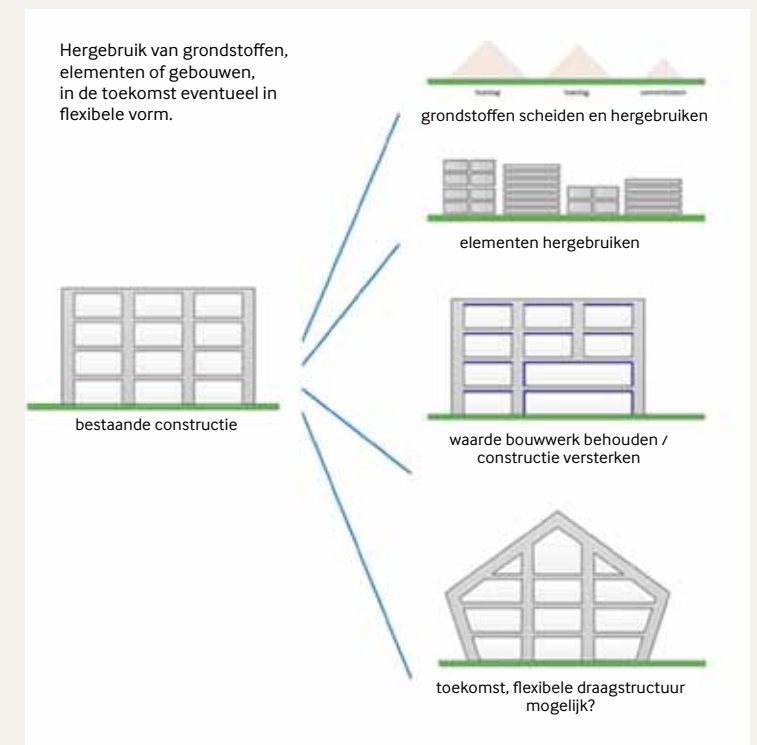
Met beton een gezond milieu maken

De maatschappelijke vraag naar duurzaam beton wordt door de klimaatveranderingen steeds groter. Wereldwijd gezien zorgt de productie van cement op dit moment voor vijf procent van de CO₂-uitstoot. Dat is meer dan de gehele uitstoot van de transportsector bij elkaar. Nederland doet het relatief goed, met name door name toepassing van klinkerarme cementsoorten (waaronder Hoogovencement). Toch was de betonketen in 2010 nog goed voor 1,6 procent van onze de uitstoot. Verduurzaming is dan ook een belangrijke opgave. De zoektocht naar het ultieme duurzame beton is in volle gang. Het doel? Nul procent CO₂-uitstoot en een honderd procent gesloten cyclus. In plaats van een negatieve impact op het milieu ontstaat dan een positieve impact. Om dit te bereiken moeten vertrouwde betonrecepturen op basis van CO₂-rijke cementsoorten worden vervangen door alternatieve cementerende bindmiddelen. Een veelbelovende innovatie zijn geopolymeren: cementsoorten gebaseerd op calciumaluminaten

en silicaten, met een beduidend lagere CO₂-emissie dan het traditionele Portlandcement. Voor nul procent CO₂-uitstoot zullen echter ook de productie en het transport energie- en CO₂-neutraal dienen te gebeuren. Door de toenemende schaarste van grondstoffen is een duurzame omgang met deze grondstoffen een harde voorwaarde voor duurzaam beton. Grind wordt in Nederland voornamelijk toegepast als grof toeslagmateriaal voor beton. Grootschalige grindwinning op land en zee zal gezien de bijkomende negatieve milieu-effecten door aantasting van de biodiversiteit steeds lastiger worden. Circulair beton is hierop het antwoord. Maar waarom geen beton dat het milieu beter maakt in plaats van de schade probeert te beperken of nivelleren? Dat kan ook. De biodynamische betonnen gevelpanelen van het Italiaanse paviljoen op de Expo 2015 in Milaan worden door zonlicht geactiveerd, zodat ze de luchtvervuiling opvangen en transformeren in zouten om zo het smogniveau te verminderen. Ook kan beton een prima voedingsbodem zijn voor horizontale of verticale begroeiing om het microklimaat van gebouwen te beïnvloeden. Naast technische innovaties is een andere omgang met beton nodig. Alleen een maatschappelijke aanpak

De ontdekking van 'betonrot', een verzamelnaam voor corrosie van de wapening door carbonatatie of chlorides, gaf een deuk in het imago van beton. Door het toepassen van wapeningsdekking werden constructies minder slank.

Betonrot



Esthetisch

Sinds de jaren zestig wordt beton als esthetisch materiaal toegepast, als gevelement of als in het zicht blijvende constructie. Van uitgewassen beton met het toeslagmateriaal aan het oppervlak via kleurbeton naar vlak grijs beton met een vast plaatnaden- en centerpennepatroon.



Biodynamisch cement in het Palazzo Italia, op de Milaan Expo 2015 door Nemesi & Partners
Foto Lighthouse Productions / Dirk Verwoerd

flexibele malen, zoals 'fabric formwork', en zelfs aanpasbare malen, bijvoorbeeld 'vacuumatic formwork'. Elke methode heeft specifieke voor- en nadelen die bepalend zijn voor de effectiviteit van de toepassing ervan. Ook op beton-technologisch vlak is er al veel mogelijk. De term 'kneedbaar beton' is niet meer ondenkbaar. Door te spelen met de uithardingstijd en dus met de plasticiteit van beton is het nu al mogelijk om het betonmengsel te vervormen nog voordat het volledig is uitgehard, bijvoorbeeld voor de productie van vrijgevormde dunwandige betonconstructies. Nieuwe digitale productietechnieken leiden ertoe dat arbeidsintensieve (deel)processen gaandeweg plaats zullen maken voor computergestuurde processen. Een hedendaags voorbeeld hiervan is de toepassing van malen van geëxpandeerde polystyreen (EPS), die door robots in de gewenste vorm worden gefreesd. De vorm is hierbij niet langer

afhankelijk van de manier waarop de bekistingbouwer tweedimensionale tekeningen van het driedimensionale ontwerpmodel interpreteert, maar wordt via een digitale vertaalslag geproduceerd van het digitale 3D-model. De ontwikkelingen op het gebied van 3D-betonprinten zullen waarschijnlijk nog een procesverschuiving teweegbrengen, aangezien geprinte betonconstructies wellicht helemaal geen bekisting meer nodig hebben. Het betonmengsel kan dan direct 'geprint' worden waar het nodig is, met een grote mate van vormvrijheid en de mogelijkheid om niet-repeterende elementen te produceren, zonder afval. Vanzelfsprekend stelt dit hoge eisen aan de technische mogelijkheden van 3D-printers, maar nog belangrijker aan samenstelling van het betonmengsel, dat enerzijds niet moet inzakken na het aanbrengen en anderzijds goed moet hechten aan de eerder geprinte laag. Een belangrijk aspect dat nog moet



met intensieve samenwerking tussen alle partijen kan ervoor zorgen dat de zoektocht naar 'duurzaam' beton slaagt.

Van ambachtelijk naar digitaal vakmanschap

In theorie is beton in elke vorm te gieten. In de praktijk blijkt dit echter complexer dan het lijkt. Beton ontstaat doordat een vloeibaar materiaal mengsel verhardt als gevolg van een scheikundige reactie. Om het vloeibare mengsel in de gewenste eindvorm te krijgen is een ondersteuningsconstructie nodig. Het ontwerpen van de vorm van de betonconstructies heeft

dus vooral betrekking op het ontwerpen van de bekisting of mal. De nauwkeurigheid van de eindvorm en de kwaliteit van het oppervlak zijn in belangrijke mate afhankelijk van de eigenschappen en de kwaliteit van de mal en dus ook van het vakmanschap van de maker. Robuustheid en aanpasbaarheid van de mal zijn weer van belang voor eventueel hergebruik. Er zijn vele bekistingssystemen beschikbaar die de intrinsieke vormvrijheid van beton zo optimaal mogelijk proberen te benutten. Deze systemen variëren van vormvaste malen (zoals traditionele houten bekistingen) tot zogenaamde



Textielbekisting, vacuumbekisting en houten bekisting van Folly Zonnestraat in Hilversum



Nieuwe mogelijkheden

Er waren betonproducten die het niet haalden, zoals polyesterbeton of met asbestvezel versterkt beton. Er waren betonproducten die nieuwe mogelijkheden gaven. Denk aan onderwaterbeton bij ondergronds bouwen of colloïdaal beton in de waterbouw.



Het vervormen van 'vacuumbeton' aan de TU/e



3D-betonprinten



Cloud-based manufacturing

worden opgelost, is de huidige noodzaak voor het toepassen van (traditionele) wapening. Is het mogelijk om vezelwapening direct mee te printen of zullen zelfs vezels op den duur overbodig worden? Om hier antwoord op te kunnen geven zullen we het produceren van beton wellicht vanuit een ander perspectief moeten benaderen en niet daarbij voortborduren op gevestigde technieken en processen. Niet alleen deze digitale productiemethode zelf zal een grote ommezwaai tot stand brengen in de bouwpraktijk, maar ook de manier waarop de informa-

tie wordt uitgewisseld. Geïntroduceerd door het principe van 'cloud-based software' zal de daadwerkelijke productie eveneens veranderen in een 'cloud-based' proces met wereldwijd geïnstalleerde 3D-betonprinters (hubs), die vanuit elke willekeurige plaats kunnen worden aangestuurd. Dat verandert de factor transport. De digitalisering van het maakproces van beton is breed in gang gezet. De technische randvoorwaarden zijn al nagenoeg voorbereid. Het is nu aan de ontwerpers/gebruikers om daar effectief op in te springen.

Beton moet mooi zijn, zegt de architect ...

- Beton moet sterk zijn, zegt de constructeur...
- Beton moet lekker lopen en snel hard worden, zegt de aannemer...
- Beton moet waterdicht zijn, zegt de kelderbouwer...
- Ik wil water door beton laten lopen, zegt de installateur...
- Beton moet betrouwbaar zijn, zegt de opdrachtgever...
- Beton moet duurzaam zijn, zeggen de wereldverbeteraars...
- Beton is saai, zeggen de bewoners...

Veruit het grootste volume betonmortel verdwijnt in grote civiele constructies, onder de grond of in kunstwerken. Als robuust en sterk materiaal, hoewel ook daar steeds vaker esthetische eisen worden gesteld.

Aan de andere kant van het betonspectrum bevindt zich de vooral esthetische toepassing van beton, in gevels of als kunstuiting. Er worden mooie voorbeelden gerealiseerd, met een prefab gebouwschil of als monolithische sculptuur. Constructie speelt een kleinere rol, naast esthetische eisen is vooral de duurzaamheid (levensduur) van belang. Bij de Parkpergola in Utrecht wordt beton aibaar, wat

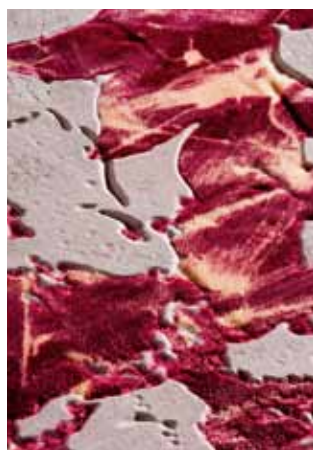
we ook zien bij de in juli opgeleverde Zandwacht op de Maasvlakte. Voorbijgangers vragen zich bij het passeren hardop af of hier werkelijk beton is toegepast. Er kan nog veel worden bereikt met nieuwe maltechnieken, waarmee er ruimte komt voor vrije vormgeving, wat tegemoet komt aan de steeds complexere 3D-ontwerpen. Kunststof, textiel en EPS vervangen staal en hout steeds vaker als bekistingsmateriaal. Daarnaast ontstaan er, door te spelen met de textuur en kleur van het betonoppervlak, oneindig veel nieuwe mogelijkheden voor beton als 'levend' materiaal en kan worden ingespeeld op de behoefte aan beleving en herkenbaarheid. Met bijvoorbeeld pixelbeton kunnen in de toekomst unieke afbeeldingen in het oppervlak gerealiseerd worden. Bijzonder in het vakgebied van schoonbeton is de inmenging van esthetische uitgangspunten en architectuur. Vrijwel alle partijen in de betonketen kunnen elkaar vinden op harde technische argumenten, hoewel deze tegenstrijdig kunnen zijn. Maar schoonbeton gaat over beleving en verbeelding, hier wordt de betonwereld uitgedaagd om door de ogen van een ander naar het materiaal te kijken.



Pixelbeton, gemaakt in een flexibele mal

UHSB

Zelfverdichtend beton verbeterde de arbeidsomstandigheden in de prefab fabriek en gaf een impuls aan de kwaliteit. Met Ultra Hoge Sterkte Beton (UHSB) kan slanker gebouwd worden, met vezelbeton zijn we beter in staat scheurvorming te beheersen.



Daarna kunnen we beton blijvend flexibel maken, waarbij we de eigenschappen in de tijd kunnen wijzigen, met buigbaar beton als eerste stap. Als composietmateriaal is er met beton nog van alles mogelijk. Het beton van de toekomst geeft licht, liefst alleen op de plekken waar we het nodig hebben. De betongevel van de toekomst isoleert in de winter maar opent zich in de zomer, zodat de koellast beperkt blijft. Met het beton van de toekomst kunnen we naar een werkelijk flexibele indeling toe. Het klinkt als verre toekomst, maar is dichterbij dan we denken. Mits we de slag van beton als constructiemateriaal naar beton als slim composiet kunnen maken.

Nieuwe betontechnologie geeft boost aan superslank bouwen

Ultra Hoge Sterkte Beton (UHSB) met wapeningsvezels kan met weinig materiaal grote krachten opnemen, waardoor je superslank kunt construeren. Slanker dan iedereen denkt, want UHSB kan zelfs concurreren met staal. Bovendien is de bestendigheid tegen brand en een agressief milieu goed. En toch wordt het materiaal nog niet breed ingezet. Hoe kan dat? 'Gewoon' beton is robuust, goedkoop en in alle vormen te gieten. Het heeft echter een beperkte sterkte en taaiheid. Daardoor wordt het vooral in

relatief dikke constructies toegepast. Vaak is dit prima, omdat massa ook nodig is vanwege akoestische eisen of trillingen. Echter, beton kan ook slank! Dit is zeker van belang bij onderdelen waar grote krachten op komen, zoals kolommen in hoogbouw, of voor betonnen prefab onderdelen. Bij prefab onderdelen telt namelijk het gewicht voor transport en de benodigde kraan capaciteit door in de uiteindelijke kosten. Beton heeft de laatste jaren een flinke ontwikkeling doorgemaakt op het gebied van sterkte. Zonder al te veel beton technologische aanpassingen kan al snel een beton worden vervaardigd dat drie keer zo sterk is als 'normaal' beton. Met recente ontwikkelingen in UHSB zijn druksterkten van 150 N/mm² heel goed haalbaar. Dit is zes keer zo sterk als traditioneel beton van sterkteklasse C20/25. Naast de druksterkte neemt ook de treksterkte met zes keer toe. In combinatie met een juiste dosering wapeningsvezels wordt zo een taaiwinst behaald. Hierdoor kan de hoeveelheid traditionele wapening worden beperkt of zelfs helemaal achterwege blijven. Moeilijke in elkaar vervlochten wapeningskorven zijn daarmee verleden tijd. Bovendien heeft UHSB een zeer dichte structuur waarmee de bij normaal beton benodigde wapeningsdekking



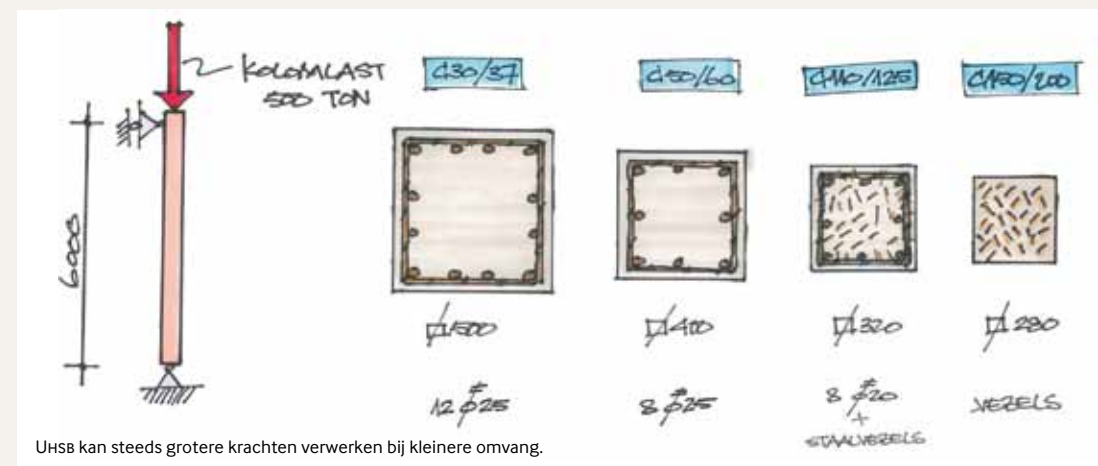
Dit geldt ook voor verschillende duurzaamheidsontwikkelingen in beton. Bij gebruik van de thermische massa van beton en met de ontwikkeling van het isolerende warmbeton is sprake van meervoudig materiaalgebruik, waarbij ook naar andere eigenschappen dan sterkte en verwerkbaarheid moet worden gekeken. Hier zit de essentie van de toekomstbestendigheid van beton. Technisch gezien kunnen we veel, maar zijn we in staat om verder te kijken dan beton als constructiemateriaal? Bij schoonbeton zien we dat behalve aandacht en vakmanschap, de mate van samenwerking de bepalende factor

is voor succes. Naarmate we meer en andere eisen gaan stellen aan het materiaal, is er meer bundeling van kennis en samenwerking nodig. Ketenintegratie is een modewoord, maar zou voor de toekomst van beton als esthetisch materiaal wel eens bepalend kunnen zijn. Als composietmateriaal kan beton zich met nieuwe ingrediënten aanpassen aan toekomstige eisen. Doorbreken we onze metselwerk-met-spuuw-traditie als we isolerend en translucet beton hebben wat er ook nog mooi uitziet? De eerste stap in de verdere ontwikkeling van beton is het toevoegen en verder uitbouwen van eigenschappen.

Hogere eisen

Ook in de uitvoeringstechniek werden stappen gezet. Enerzijds in de maltechniek, anderzijds in de verhardingsbeheersing met koeling en toepassing van alternatieve bindmiddelen. Hiermee worden overigens steeds hogere eisen aan de mengsels gesteld. Deze worden steeds vaker projectspecifiek ontwikkeld, in samenspraak tussen aannemer, constructeur en leverancier.

kan worden beperkt. Hiermee wordt beton het ideale materiaal om slank te bouwen. En de kosten? Een betonsoort met een druksterkte van C80/100 is niet heel veel duurder dan het traditionele C20/25. Kortom geen reden om hoogwaardige beton technologie niet toe te passen. De kansen liggen niet alleen in constructies, maar vooral ook in architectonische elementen als gevels, wanden of andere bouwkundige onderdelen. Door de enorm dichte structuur is het materiaal heel goed bestendig tegen agressieve milieus. Het gewasengrind-tegel uiterlijk dat bij oudere betonconstructie nog wel eens voorkomt, zal bij UHSB-materiaal niet voorkomen. Het UHSB leent zich verder goed om ingewikkelde structuren te maken. Met een slimme constructieve opzet wordt dan alleen materiaal toegepast waar dat nodig is. Een kanaalplaat is hier een mooi voorbeeld van. Zou een kanaalplaat van UHSB worden gemaakt, dan zou hij nog lichter kunnen worden uitgevoerd. Combineer het slimme construeren aan hoogwaardige beton technologie en er volgt een grote winst in slankheid en materiaalverbruik. Door hiermee aan de slag te gaan kan op korte termijn kan een enorme slag worden gemaakt in bouwkosten en duurzaamheid. Lichter bouwen betekent immers veel minder materiaal en ook minder energieverbruik. Een mooi voorbeeld hiervan is het toepassen van dunne UHSB-balkonplaten. Hierdoor neemt het gewicht aan het gebouw af. Dit betekent een lichtere koudebrugonderbreking, lichtere balken aan de binnenzijde van het gebouw. Dit heeft weer een voordeel dat het totale gewicht van het gebouw afneemt. Hierdoor kunnen de kolommen maar de ook de fundatie lichter worden uitgevoerd. Kortom een kleine directe winst die doortelt in veel andere onderdelen van een gebouw.



UHSB kan steeds grotere krachten verwerken bij kleinere omvang.



Le Pont de la République, Montpellier (F)

Referenties

1. Cement&BetonCentrum, 'Flexibele malsystemen in Artis - Tektoniek-ISOFF workshop Amsterdam' (online). www.cementenbeton.nl/architectuur/tektoniek/workshop-flexibele-malsystemen.
2. D. Veenendaal, M. West, and P. Block, 'History and overview of fabric formwork: Using fabrics for concrete casting', *Struct. Concr.*, vol. 12, no. 3, p. 164-177, 2011.
3. F. Huijben, 'VACUUMATICS: 3D Formwork Systems', Eindhoven University of Technology 2014.
4. F. Huijben, J. Feenstra, and A. Deetman, 'Vacuumatic Concrete: From Boats to Architecture', in *Proceedings of the International Society Of Flexible Formwork (ISOFF) Symposium*, Amsterdam 2015.
5. Cement&BetonCentrum, '3D-betonprinten bij TU/e' (online). www.cementenbeton.nl/materiaal/3d-betonprinten.
6. F. Leblanc, 'ANYTHING, ANYONE, ANYWHERE Toward a cloud-based 3d printing fabrication in architecture', in *Proceedings of the 19th International Conference of the Association of Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*, 2014.

- ir. Frank Hofmans – specialist hergebruik gebouwen, ABT
 - dr. ir. arch. Frank Huijben – constructief ontwerper / bedenker Vacuumatics 3D-bekistingssystemen, ABT
 - ing. Michaël Menting – constructeur / ontwikkelaar vezelbeton en UHSB, ABT
 - ir. Ronald Wenting – constructief ontwerper / trekker duurzaamheid, ABT
 - ing. Theo van Wolfswinkel – specialist schoonbeton, ABT