

# CIVIELE TECHNIEK

Vakblad voor grond-, weg- & waterbouwkunde en verkeerstechniek

jaargang 71 nummer 4 2017



## Thema Innovatie

**Ijzeroer als duurzame  
bouwstof**

**Pompschepen op stoom**

**Dijkbogen verbeteren  
taludstabiliteit**

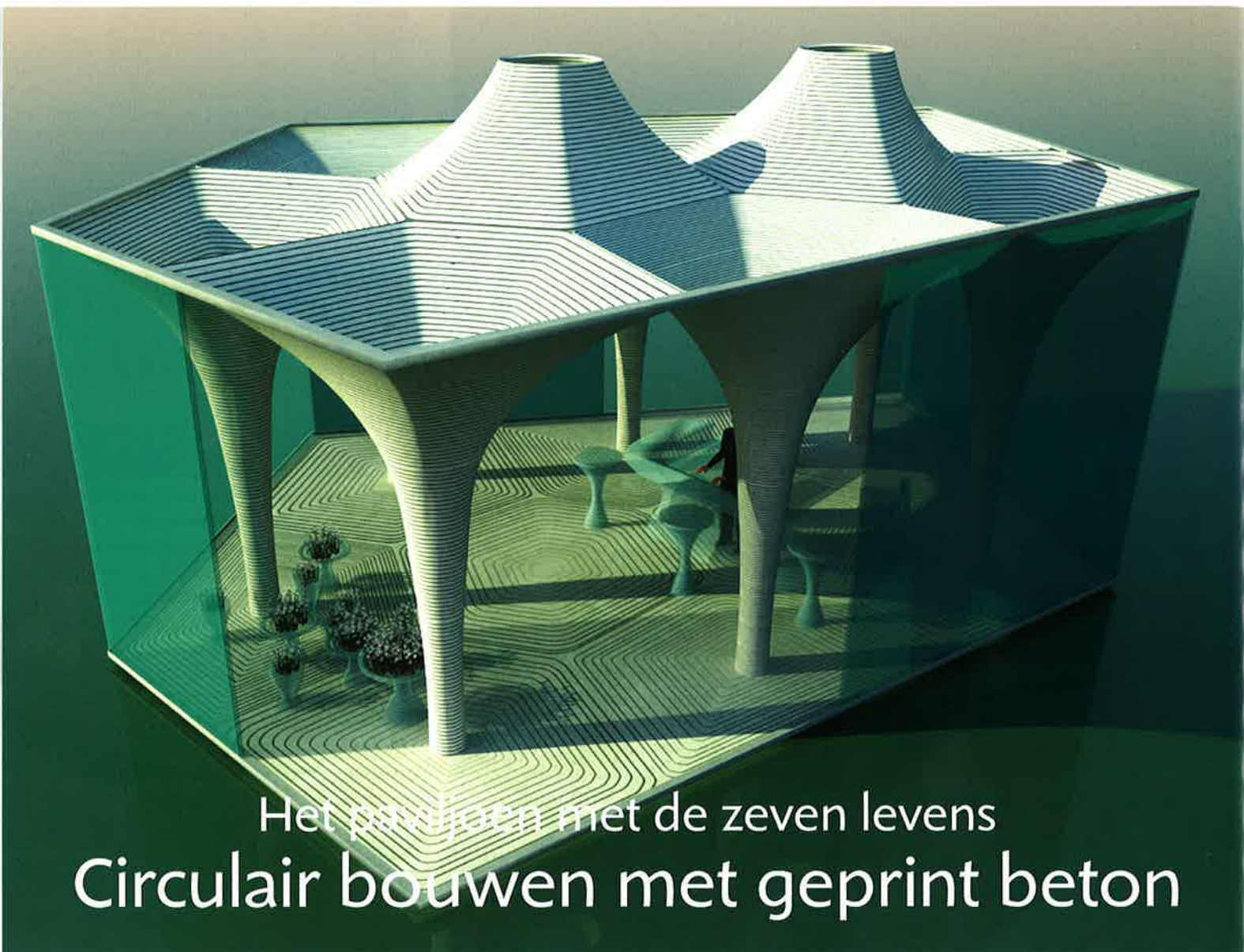
**Vliegveld wordt  
duurzaam warmtenet**

## Circulaire economie

**Prof. Peter Rem:  
'Geen kilo's maar euro's'**

**Circulair bouwen met  
geprint beton**





## Het paviljoen met de zeven levens Circulair bouwen met geprint beton

Paviljoen1 (illustratie: StudioSK/Movares)

'Het paviljoen met de zeven levens' is een nieuw concept voor een toekomstbestendig ontwerp(proces), ontwikkeld door StudioSK/Movares, Bruil en Studio RAP. Het paviljoen heeft een organische vorm met een lichte, minimale constructie, waar alleen materiaal toegepast wordt waar nodig. De levensduur staat nog niet vast, maar de veelzijdige inzetbaarheid is wel een feit. Voor de start van het project worden interdisciplinair de parameters bepaald. Uitkomsten van het ontwerpproces kunnen direct worden gebruikt om de digitale fabricage aan te sturen. Dit heeft verregaande gevolgen voor de hele bouwketen. De ontwerpende en bouwende combinatie samen zorgen niet alleen voor de digitale ontwerpen en engineering, maar ook voor de digitale productie en blijven verantwoordelijk voor het materiaal. Civiele constructies blinken vaak uit in overmatig materiaalgebruik. Daar valt veel winst te behalen, onder meer in het kader van CO<sub>2</sub>-reductie.

'Computational design' en de vaardigheid van 'computational thinking' worden meer en meer onderdeel van circulair bouwen. In het 3D-model wordt door middel van parameters waarde toegevoegd en wensen vertaald in de toekomst

van bouwwerken. Eén van de belangrijkste ontwikkelingen die momenteel in de bouw grond aan de voeten krijgt is de circulaire economie. Deze ontwikkeling heeft vergaande impact op de keten, wat vooral wordt veroorzaakt door het

verschuiven van bezit/eigendom in de keten. 'Gebruik' is het nieuwe bezit. Het samenwerkingsverband van Studio RAP, Bruil en StudioSK/Movares verkent deze ontwikkeling in een aantal met beton te printen objecten. Eén daarvan is

een paviljoen met de werknaam 'Het paviljoen met de zeven levens'. De term circulaire economie suggereert immers dat het leven van een bouwwerk met één cyclus niet ophoudt.

In ontwerp en realisatie van het paviljoen worden eveneens de steeds verdergaande digitalisering van ontwerp en fabricage benut. Deze ontwikkeling leidt tot nieuwe vragen, want als ontwerpers hun ontwerpen zo maken dat deze direct met robots maakbaar zijn, dan wel printbaar zijn, hoe wordt dan het technisch ontwerp gerealiseerd en bijvoorbeeld de veiligheid van gebouwen geborgd?

### Vier pijlers

Deze nieuwe werkwijze is ketenintegratie ten voeten uit. De maakbaarheid is niet iets van de uitvoeringsfase, maar is door de digitalisering vanaf het eerste ontwerp aanwezig en bepaalt mede het ontwerp/de verschijningsvorm.

Het ontwerp en de realisatie van het paviljoen rust op vier pijlers waarvan voortdurend gekeken wordt of deze nog voldoende aandacht krijgen.

- Sluiten van de keten. Dat wil zeggen dat de leveranciers van materialen eigenaar blijven van de materialen. Ze nemen deze aan het einde ook weer terug. Het gevolg daarvan is rolverving in het ontwerpproces.

De realisatie-eisen zijn via de ont-



Sluiten van de keten: paviljoen als wachtruimte, koffiebar, bloemenshop, beeldenpaviljoen

(Illustratie: StudioSK/Movares)

werpsoftware al tijdens eerste ontwerp aanwezig;

- Toepassen van Computational Design, gericht op het minimaliseren van materiaalgebruik en op hergebruik van het paviljoen;
- Digitale fabricage. Beton printen met robots. In de ontwerp- en realisatiefase van het paviljoen wordt de steeds verder gaande digitalisering van ontwerp en fabricage uitgenut;
- Hergebruik van materialen en flexibiliteit in functionaliteit.

### Onregelmatige vijfhoeken

De plattegrond van het paviljoen bestaat uit onregelmatige vijfhoeken. In het zwaartepunt van elke vijfhoek staat een kolom die naar boven toe uitwaaiert naar dezelfde vorm als het grondvlak. Deze kolommen worden van boven naar onderen geprint.

Op de dakrand van het paviljoen start bij elke vijfhoek de buitenlijn van geprint beton. Deze lijn maakt een golvende beweging en print laag na laag richting het zwaartepunt van de vijfhoek. Dankzij

### StudioSK/Movares

Movares is een advies- en ingenieursbureau met kennis van computational design, studioSK heeft een team ervaren architecten. Samen geven zij digitaal vorm aan een duurzame leefomgeving. Het digitale ontwerpproces vraagt de parameters van alle disciplines die invloed hebben op de uiteindelijke vorm. Het digitaal ontwerpen en engineeren houdt vooraf rekening met de mogelijkheden die digitale fabricage biedt. Deze samenwerking in een vernieuwde digitale bouwketen en inzet van nieuwe softwaretools biedt engineers de mogelijkheid materiaal in constructies zo efficiënt mogelijk in te zetten, wat ten goede komt aan de duurzaamheid van een constructie.

### Studio RAP

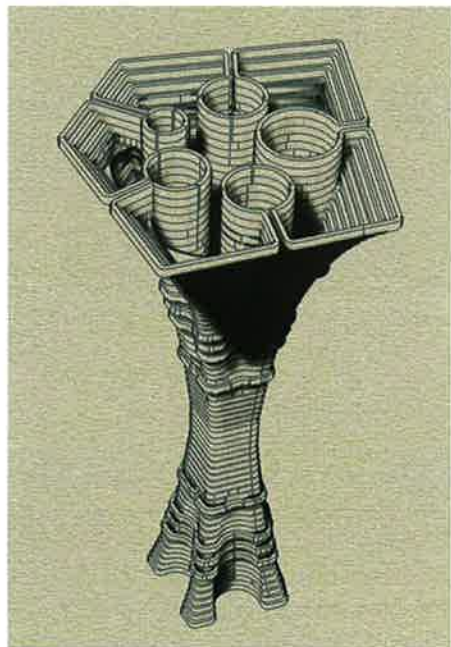
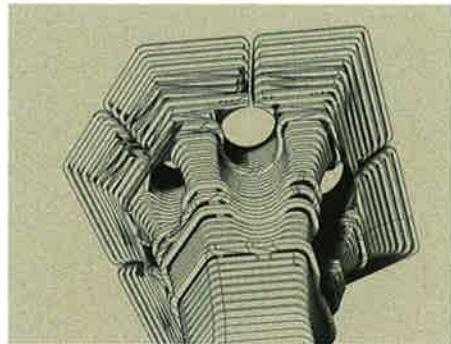
Studio RAP is een architectonische ontwerp- en fabricagestudio. RAP ontwerpt expressieve gebouwen en maakt deze deels met digitale productiemethodes, zij zijn met name gespecialiseerd in het gebruik van industriële robotarmen. De studio is gevestigd in het RDM Innovation Dock en heeft verschillende prijzen gewonnen in de bouw- en

architectuursector. Verder ondersteunt RAP onder andere betonleverancier Bruil met de ontwikkelingen van het 3D-betonprintproces.

### De 3D-betonprinter van Bruil

Bruil is producent van prefab beton en andere cementgebonden producten en werkt sinds 2015 aan de ontwikkeling van een 3D-printer voor architectonisch beton. Als maakpartij wil Bruil slimmere 'mass customized' bouwproducten produceren, waarvoor veel minder primaire grondstoffen noodzakelijk zijn. 3D-printen van beton is hiervan een goed voorbeeld. Een 3D-printer gaat namelijk heel efficiënt met materiaal om; het beton wordt alleen daar toegepast waar het een bijdrage levert aan het gebouw. Dit kan oplopen tot een materiaalbesparing meer dan 50 procent. Daarnaast is het proces van digitaal ontwerp naar digitale productie veel korter en minder complex. Hierdoor wordt vormvrijheid weer betaalbaar. Bruil is ervan overtuigd dat deze ontwikkeling de bouw zal veranderen. Het tijdperk, dat het ontwerp-vrijheid van de architect beperkt wordt door de industriële bouw- en productiemethoden, is binnen enkele jaren verleden tijd.





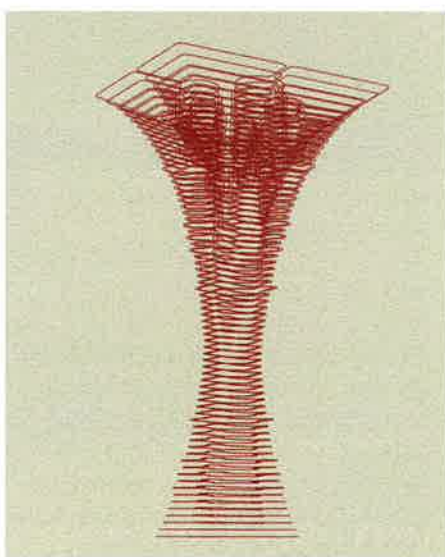
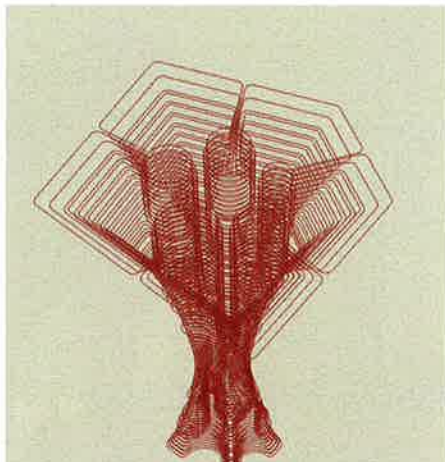
Constructief Ontwerpen Movares

de hoogte van lagen ontstaat zo een kegelvorm met een gewelfde betonschil. De betonlaag is dun, alleen het hoognodige materiaal wordt gebruikt voor de vloeiende constructieve vorm. Naar boven toe wordt de print weer breder. Als de print straks wordt omgedraaid vormt dit de voet van de constructie, zoals ook bomen dicht bij de wortels wat breder zijn. De gewelfde schaal die zo is ontstaan houdt het betonvlak stabiel en creëert tegelijk openingen waardoor daglicht binnenvalt.

Het hele paviljoen bestaat uit enkele efficiënte onderdelen die op meer locaties herbruikbaar zijn. De tegen elkaar geplaatste kolommen vormen een convex kruisgewelf zoals in een oude gotische kathedraal en Moorse architectuur. De toepassing van de onregelmatige vijfhoek geeft een grote vormvrijheid in de plattegrond zodat het paviljoen op vrijwel elke locatie kan worden ingepast.

### Schubbenpatroon

De constructie van het paviljoen is



geïnspireerd op de natuur. Het 'Voronoi'-patroon van ongelijkmatige vijfhoeken is te vinden in schubbenpatronen bij reptielen en facetten bij libellenvleugels. De uitwaaiende kolommen lijken op de kelk van een bloem of koraalstructuren, maar zijn ook terug te vinden in ijsgrotten en termietenheuvels. En de analogie met bomen die en brede wortelstructuur hebben is al genoemd. Door de kelkvormen tegen elkaar te plaatsen ontstaat de gelijkenis met de efficiënte draagstructuur van een eierdoos: een kartonnen constructie die bijna niet plat te krijgen is. Het gaat daarbij nog niet eens om het namaken van deze vormen. Wel worden lessen getrokken uit de grote materiaal-efficiëntie van deze vormen. In het paviljoen wordt het materiaal efficiënt toegepast: de kolommen worden voornamelijk op druk belast.

### Computational Design

De combinatie van moderne ontwerpsoftware en digitale productietechnieken daagt ontwerpers en bouwers uit om

vormvrije en efficiënte ontwerpen te maken. Industrieel ontwerpers passen dit al langer toe. In de auto- en luchtvaartindustrie bijvoorbeeld gaat lichtgewicht ontwerpen al jaren hand in hand met vanzelfsprekende (aerodynamisch, constructief) en toch oogstrelende vormgeving. De ontwerpers en ingenieurs van StudioSK/Movares gebruiken technieken voor computational design (zie kader) in de overtuiging dat dit nu ook in de bouw bijdraagt aan het ontwerpen van efficiëntere bouwwerken. Het denken in repetitie verandert in ontwerpen van specifiek unieke oplossingen. Toepassing van materiaal op plaatsen waar dit constructief nodig is, leidt al snel tot een materiaalreductie van procent.

### Ontwerp van het paviljoen

Met behulp van software is een vijfhoekige plattegrond verdeelt in kleinere vijfhoeken. Op elke polygoon vormt een dunne betonschil een vijfhoekige kelk, als van een bloem. De vijfhoeken kunnen worden gekoppeld zodat ze samen een kruisgewelf vormen. Het gebouw is daarmee stabiel. De waaierende vorm lijkt op het oppervlak van een schelp/koraal. Het zijn soort ribben die al tijdens het printen de betonnen wand steunen. Zo zijn er geen hulpconstructies nodig om de elementen te maken.

Ook tijdens de gebruiksfase heeft de welving een constructieve functie voor het stabiel houden van het betonoppervlak. Aan de onderzijde en bovenzijde is de kelk breder om de horizontale krachten door middel van momenten over te dragen aan de vloer van het paviljoen. Het materiaal wordt efficiënt ingezet, alleen daar waar het nodig is. De openingen die aan de bovenzijde ontstaan worden afgesloten met glas en laten daglicht toe. De glooiende welvingen aan de onderzijde worden 's avonds gebruikt voor verlichting.

### Circulair bouwen

Het paviljoen is ontworpen als een zo goed mogelijk circulair gebouw. Het kan in de eerste plaats meerdere functies vervullen. Het is in te zetten als kiosk op een marktplein, als wachtruimte bij een busstation, als entree bij een museum of als tijdelijk informatiecentrum bij een bouwplaats. Door slim te ontwerpen is het gebouw in enkele losse onderdelen te verplaatsen.

Vanaf het begin van het ontwerp wordt het aspect tijdelijkheid de mogelijkheid om het paviljoen terug te halen/verplaatsen meegenomen in ontwerpbeslissingen. Er wordt gestreefd naar minimaliseren van werkzaamheden in de grond. Het paviljoen is demontabel en tot slot kunnen de verschillende materialen hergebruikt worden. Dit laatste gaat zover dat de geprinte beton aan het eind van de levensduur gedefragmenteerd wordt tot opnieuw verwerkbaar grondstof.

### Civiele constructies

De ontwikkelingen in computational design, het digitaal ontwerpen en engineeren van (beton)constructies liggen in één lijn met de mogelijkheden voor digitale fabricage. Deze wijze van ontwerpen en engineeren laat een mindset shift zien van denken in repetitie naar unica's. Vanuit de industriële productie is van oudsher de denktant: hoe kan ik de constructie opknippen in onderdelen en hoe kan ik die componenten repeterend maken? Door te blijven denken in componenten worden niet de nieuwe mogelijkheden die het vakgebied verder brengen. Het levert voor wat betreft betonconstructies niet alleen grote vormvrijheid op, maar belangrijker nog dat alleen materiaal toegepast wordt waar nodig. Hetzelfde geldt voor toepassing van staal en andere materialen bij bijvoorbeeld

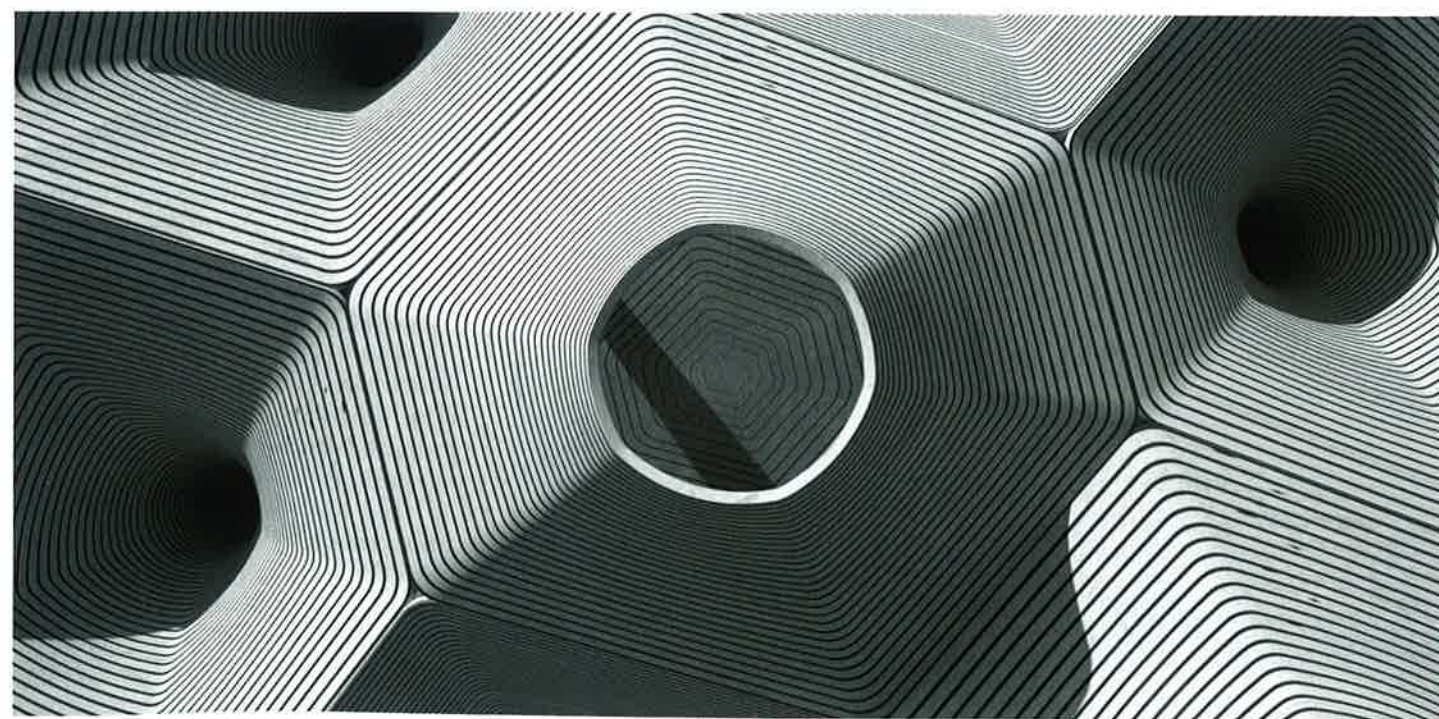


3D Proefprint (illustratie: Peter Heideman)

bruggen. Civiele constructies blinken vaak uit in overmatig materiaalgebruik; daar valt veel winst te behalen, onder andere in het kader van CO<sub>2</sub>-reductie. In de hele keten van ontwerpproces tot en met maakindustrie veranderen rollen van ontwerpers en fabrikanten drastisch. Door de noodzaak van integrale (en efficiëntere) samenwerking treedt 'rolvervaging' op. Constructieve aspecten, functie en hoe een ontwerp aanhaakt bij zijn omgeving, zijn even bepalend voor hoe een ontwerp eruit gaat zien als de randvoorwaarden van de

betonprinter, printpaden, logistiek en mortelsamenstelling. Uiteindelijk draaien alle participanten in het ontwerp en maakproces aan de knoppen die het 'DNA' van een bouwwerk bepalen. ■

*Peter Heideman,*  
*Architect AvB StudioSK/Movares*  
*Jan van Wolfswinkel, Adviseur Constructief*  
*Ontwerpen Movares*  
*Wim van't Land, Constructeur Movares*  
*Wessel van Beerendonk, Co-founder &*  
*architect bij Studio RAP*  
*Theo Voogd, Communicatie Bruil*



Dakaanzicht (illustratie: StudioSK/Movares)