

Topologisch ontwerpen: ontwerp en engineering in één slag

De contouren van een geheel nieuwe wijze van engineering en bouwen worden steeds meer zichtbaar: het zogeheten topologisch ontwerpen.

Ontwerpprocessen vinden niet meer plaats op de schetsrol, maar worden geprogrammeerd en uitgevoerd door de computer. Dat leidt tot efficiënter materiaalgebruik, maar ook tot fundamentele veranderingen van het bouwproces en andere rollen van participanten in dat proces.

Figuur 1 Sprietkolom (Foto Peter Heideman)

Als gevolg van software-ontwikkelingen kunnen ontwerpprocessen voor een groot deel worden geautomatiseerd. Formfinding op basis van een ruimtelijk programma van eisen en optimalisatie van constructies worden geprogrammeerd en door de computer uitgevoerd. Dit topologisch ontwerpen staat ook wel bekend als ESO; Evolutionary Structural Optimization.

Printer

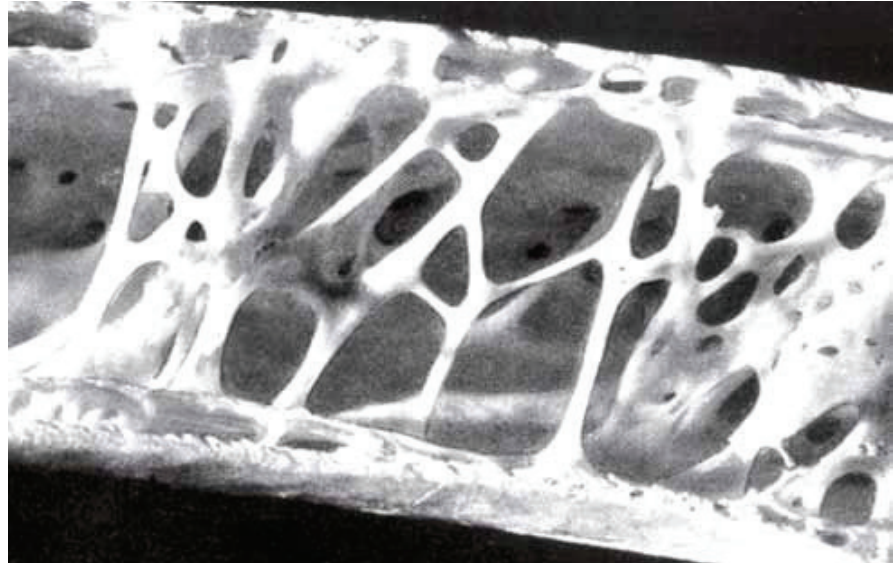
Deze trend wordt versterkt door de stormachtige ontwikkeling van productieprocessen waarin de printer centraal staat. Met een printer kunnen makkelijk unieke, eenmalige producten gemaakt worden. De vorm en productie van het uiteindelijke bouwwerk wordt daardoor niet meer bepaald door de huidige lineaire, discontinue (deel)producten, die nu op de markt beschikbaar zijn.

Casestudy

In de casestudy 'Topologisch optimaliseren van een fiets- en voetgangersbrug' komen deze ontwikkelingen bij elkaar. In deze casestudy bepaalt software de vorm van een betonconstructie. Het is een vervolg op de casestudy 'UHPC Sprietkolom' uit 2014, waarbij, geïnspireerd op voorbeelden uit de natuur, het met zo min mogelijk UHPC (Ultra High Performance Concrete) vervaardigen van een kolom centraal staat. De Stichting Cement & Beton organiseert betoncases waarin ontwerpers gekoppeld aan marktpartijen onderzoek doen naar betoninnovaties (figuur 1). De door Movares geïnitieerde en door Geelen Beton uitgevoerde 'Sprietkolom', werd als een van vier veelbelovende cases geselecteerd voor een verdiepingsslag: ontwerp en realisatie van een constructieve ondersteuning van een voetgangersbrug door middel van 'topologische optimalisatie', oftewel Evolutionary Structural Optimization (ESO) in samenwerking met de TU Eindhoven.

Inspiratiebronnen

De natuur laat bij organismen een breed palet zien aan oplossingen voor draagstructuren. Telkens in harmonieuze samenhang met transportsystemen (vatenstelsels), zenuwbanen, vezels en/of spierweefsel. Alle aspecten die van invloed zijn op het functioneren en overleven van een organisme zijn integraal geoptimaliseerd en verankerd



Figuur 2 Vogelbot



Figuur 3 Resultaat Optimalisatie (Beeld door Movares Visuals)

in DNA. De uiteindelijke verschijningsvorm is maatwerk en is uiterlijk afgestemd op alle van toepassing zijnde randvoorwaarden, als bijvoorbeeld verschillende omstandigheden, leef- en overleefwijzen (figuur 2, 3, 4).

Frappant in bio-mimicry, de wetenschap en kunst van het nabootsen van de beste biologische ideeën uit de natuur om menselijke problemen op te lossen, is dat in de natuur veel structuren van verschillende schaalniveaus sterke gelijkenis vertonen. Veel structuren komen overeen met fractals, wiskundig beschreven meetkundige figuren die zelfgelijkend zijn en zich op verschillend schaalniveau repeteren. Interessant gegeven daarbij is dat esthetiek meestal geen onderdeel uitmaakt van het 'onderliggende programma van eisen'. Dat desondanks de resultaten altijd als 'mooi' bestempeld kunnen worden, vloeit voort uit het samengaan van een veelheid aan eisen en randvoorwaarden, die allemaal integraal en gebalanceerd invloed hebben gehad op de ontwerpen.

Ook in de auto- en luchtvaartindustrie

hebben functionele, ergonomische en gebruiksaspecten eveneens een doorslaggevende invloed op ontwerpen.

Een carrosserie van een raceauto ziet er om die redenen anders uit dan een personenauto.

Evolutionary Structural Optimization (ESO)

Voor het ontwerp en engineering van de fiets- en voetgangersbrug is gebruik gemaakt van Evolutionary Structural Optimization (ESO) software van de TU Eindhoven, het eindige-elementenprogramma Abaqus met TOSCA plug-in. Daarmee wordt, binnen een vooraf gedefinieerd zoekgebied, door de software zoveel mogelijk onnodig materiaal weggehaald, totdat een optimum is bereikt. De software kan ook op één plek materiaal weghalen en op een andere toevoegen: Bi-Directional Structural Optimization (BESO). Het eindresultaat wordt in beide gevallen, net als in de natuur, bepaald door vooraf goed geformuleerde eisen en niet door (veelal beperkende) esthetische voorwaarden.

Parameters fiets- en voetgangersbrug

Bij de fiets- en voetgangersbrug spelen, vanuit verschillende vakgebieden (logistiek, haalbaarheid en doorzicht in verband met sociale veiligheid) verschillende randvoorwaarden een rol. Dat vereist samenwerking tussen alle disciplines vanaf het begin.

De architect en constructeur van Movares hebben voor de fiets & voetgangersbrug in creatieve dialoog de uitgangspunten en parameters - het digitale 'DNA' - van de brug bepaald, zoals materiaaleigenschappen, maatgevende belastingcombinaties, positie brugdek, breedte van onderdoorgangen, doorrijhoogten, doorzicht in verband met sociale veiligheid en logistiek.

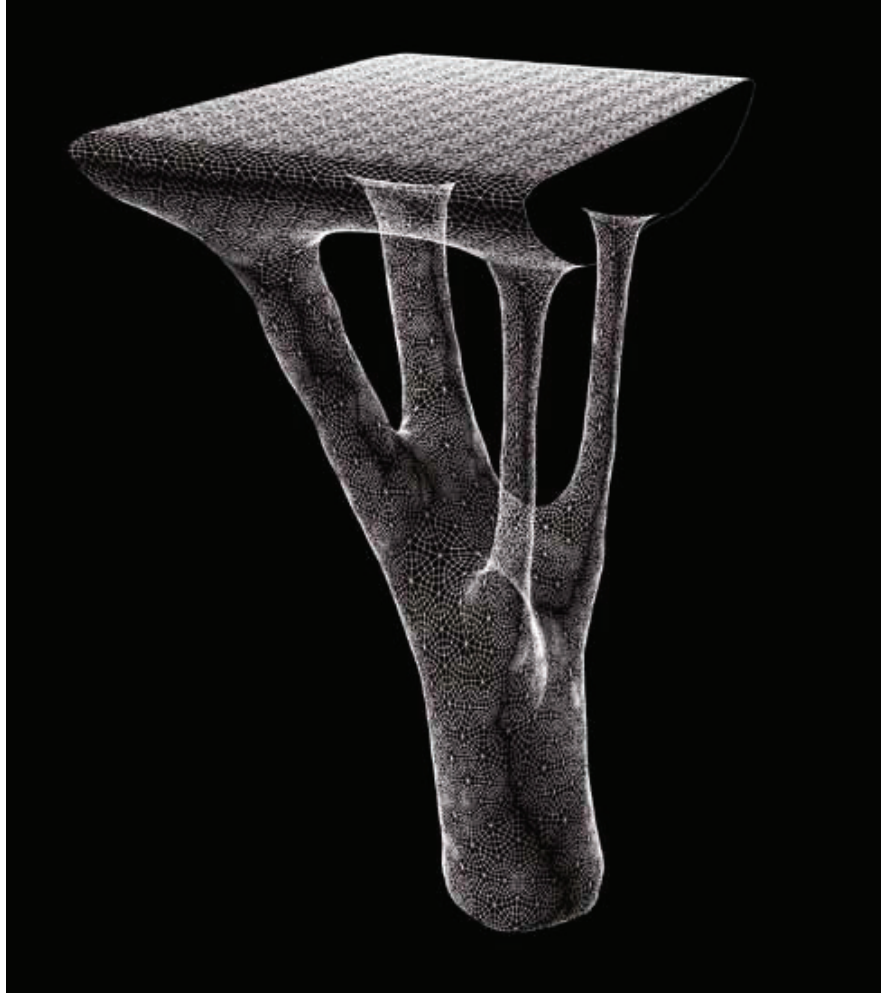
Iedere parameter kan in de software worden ingevoerd en heeft zo invloed op hoe de software de brug door 'kruisbestuiving' tussen verschillende aspecten en disciplines genereert. De software analyseert vervolgens alle mogelijke varianten en bepaalt binnen de opgegeven parameters de meest optimale vorm van de constructie. Ontwerp en engineering vinden dus in één slag plaats.

Dat het resultaat lijkt op een 'boomachtige' structuur of een 'omgekeerde giraf' is niet geheel verrassend. De aantakking van de sprieten op de kolom vertonen dezelfde wijze van aanhechting, die piekspanningen optimaal reduceren.

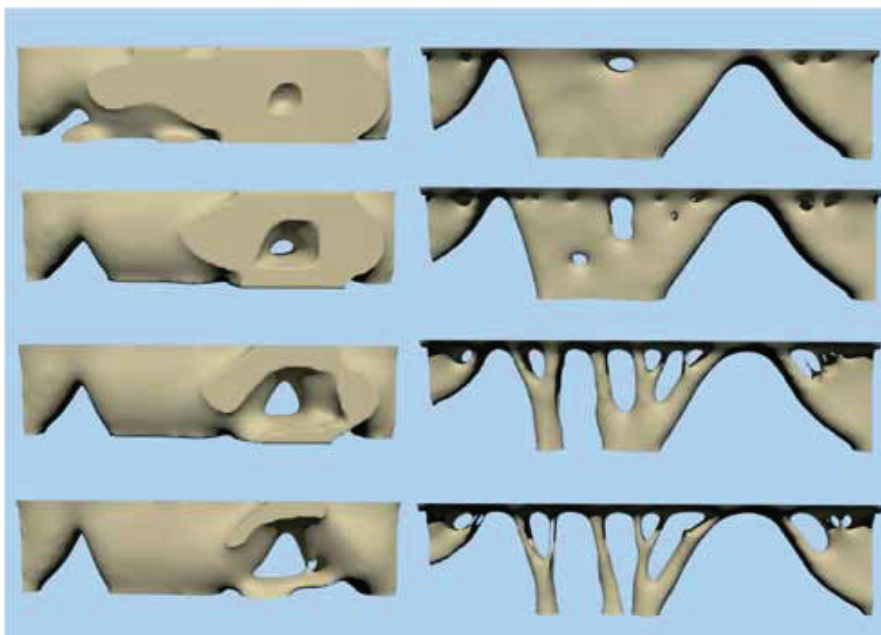
Productiekolom

In een dergelijk ontwerpproces veranderen de rollen drastisch in het ontwerp en realisatiefase. De ontwerpende rol van architect en constructeur verplaatst zich meer naar het voortraject. Het is interessant te onderzoeken hoe de traditionele SO (schetsontwerp), VO (voorlopig ontwerp), DO (definitief ontwerp) en variantenstudies zich gaan verhouden tot het ontwerpproces.

De output van de door de software gegenereerde vorm is omgezet naar een bestand waarmee een 3D CAD/CAM robotfrees bij Twinplast is aangestuurd om de bekistingmal te produceren. Bij Geelen Beton is de mal gevuld met UHPC met vezelwapening. (figuur 6, 7, 8). Een logische vervolgstap zou kunnen zijn om de beton in verschillende dichtheden en sterkten te printen: massief aan de buitenzijde waar sterkte nodig is en poreus in het midden om materiaal te



Figuur 4 Voorkant (Beeld door Movares Visuals)



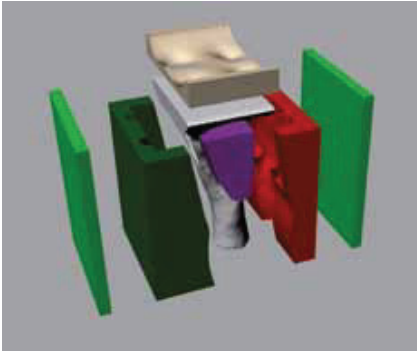
Figuur 5 Optimalisatie In Stappen (Beeld door Movares Visuals)

besparen en gewicht te reduceren, wat in de natuur te vergelijken is met de botten van een vogel.

Perspectief

Topologisch, parametrisch en generatief ontwerpen gaat uitstekend samen met de 3D-printtechnologie. In de auto- en

luchtvaartindustrie neemt het percentage prefab geprinte onderdelen rap toe. Bij 3D-geprint beton liggen interessante mogelijkheden in het verschiep. Daarbij horen andere productie- en bedrijfsprocessen, niet in bulk denken, maar in snelheid en efficiency. Binnen hetzelfde betonelement kunnen



Figuur 6 Twinplast maltekening

verschillende functies intelligent worden opgelost. Integratie van installatiezones met de draagstructuur, waardoor er geen leidingwerk hoeft te worden aangebracht en poreusheid fungeert als isolatie of als dampopen constructie.

'Multi material' printers kunnen wapening en installaties printen op plekken, waar alleen deze nodig is, zonder dat in het werk vlechtwerk hoeft te worden verricht.

ICT als ontwerptool

ICT als ontwerptool gaat een steeds grotere plaats innemen. Van ontwerp tot realisatieproces komt er nauwelijks meer handenarbeid aan te pas. Mutaties in parameters en consequenties daarvan kunnen door gebruikmaking van de software snel, integraal en in een vroeg stadium in beeld worden gebracht. Wederom, ontwerp en engineering

vinden in één slag plaats. Gebruik van de computer maakt binnen een constructie oplossingen op maat mogelijk. Vanuit de industrie is van oudsher de denktrend: hoe kan ik de constructieonderdelen opknippen in componenten en die repeterend maken?

Met topologisch ontwerpen/ESO verandert het ontwerpen van dragende constructies ingrijpend. Denkbaar toepassingsmogelijkheden van deze techniek zijn viaducten, bruggen, dijklichamen, geïnjecteerde/3D geprinte funderingen, boortunnels en knopen. Door te blijven denken in componenten

worden niet de nieuwe mogelijkheden benut die het vakgebied verder brengt en ontleemt de constructie zijn vanzelfsprekendheid. ■

Peter Heideman, architect StudioSK/Movares

Team:

Peter Heideman, architect; StudioSK / Movares

Jan van Wolfswinkel; constructeur Movares

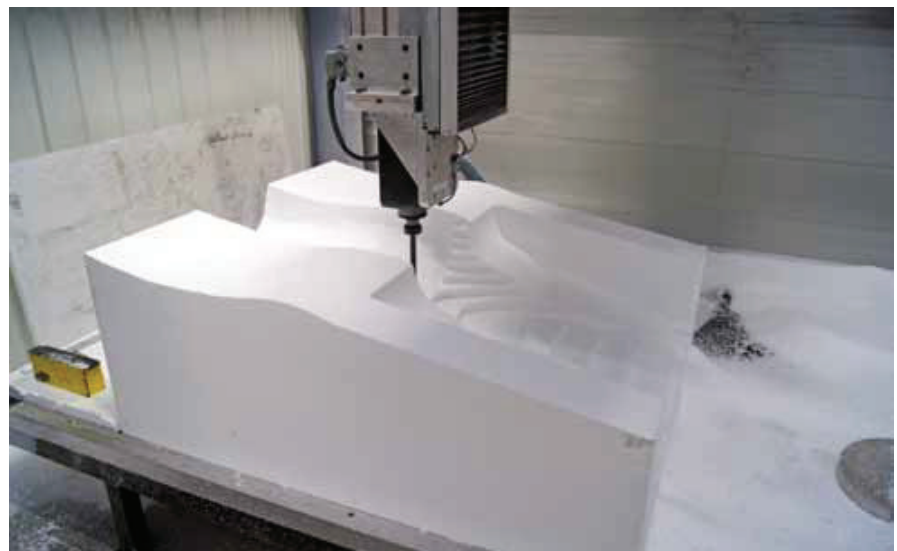
Theo Salet, Hoogleraar Constructief Ontwerpen; TU/e

Jasper van Alphen & Joey Janssen, studenten; TU/e

Wim Rongen, betontechnoloog; Geelen Beton

Twinplast; maltechniek

Hans Köhne; Stichting Cement & Beton



Figuur 7 Twinplast-frees



Figuur 8 Twinplast-EPS Mal