

## Grijs beton bestaat niet

**Citation for published version (APA):**

Salet, T. A. M. (2013). *Grijs beton bestaat niet*. Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/2013

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Intreerede  
prof.dr.ir. Theo Salet  
19 april 2013



/ Faculteit Bouwkunde

**TU** **e** Technische Universiteit  
Eindhoven  
University of Technology

# Grijs beton bestaat niet

Where innovation starts

**Intreerede prof.dr.ir. Theo Salet**

---

# **Grijs beton bestaat niet**

**Uitgesproken op 19 april 2013  
aan de Technische Universiteit Eindhoven**



# Inleiding

## **Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,**

Ik ben niet iemand van het bekende, het vertrouwde. Het geduld ontbreekt mij daar simpelweg voor. Ik raak nu eenmaal snel gefascineerd door nieuwe prikkels uit mijn omgeving. Ik kan daarbij geen nee zeggen, want er zijn altijd zoveel leuke dingen om te doen. Regelmatig vallen hierdoor onbedoeld zaken van mijn kar, in de hoop dat anderen die oprapen.

Ik herken de opgaven waar onze maatschappij vandaag de dag voor staat. Dit geldt in het bijzonder voor de bouwsector. Ik sta er immers bedrijfsmatig dagelijks middenin. Te veel energie gaat hierbij naar mijn mening dagelijks nog verloren aan het bij herhaling beschrijven van zaken waar niemand tégen kan zijn, in plaats van er werkelijk iets aan te doen. Niet mijmeren over minder, maar handelen in termen van plus. Ik realiseer me terdege dat dit niet altijd eenvoudig is.

“Wie wandelt, kijkt niet naar het landschap, maar maakt er deel van uit”, stelt de Franse filosoof Frederic Gros. Ik hou ervan nieuwe paden te bewandelen. Deel uit te maken van nieuwe ontwikkelingen. Niet alleen, ik doe het graag in goed gezelschap. Daarbij is het fijn als een deel van de last gedragen wordt, die nu eenmaal hoort bij elke verkenning. Ik trek er in mijn vrije tijd daarom graag op uit met een ezel als kompaan. Als u het mij toestaat, doe ik dit bij het uitspreken van deze rede ook. Het voelt vertrouwd.

De nieuwe paden leiden ons uiteindelijk naar het onderwijs en het onderzoek dat ik wil geven aan deze universiteit, hoe ik dat wil doen en bovenal waar dat toe moet leiden.

# Lessen uit het verleden

In het boek ‘Misleid door toeval’, stelt Taleb dat we de rol van het toeval in ons leven (en dat van anderen) steeds weer onderschatten. Pech is het verdiende loon, geluk een verdienste. Ons brein geeft liever een verklaring, dan te berusten in stom geluk [1]. Het gaat te ver om het ontstaan van gewapend beton alleen toe te schrijven aan geluk. Ongewapend beton werd immers al in de Romeinse tijd met veel succes toegepast. We zullen echter nooit weten wat er was gebeurd, als de Franse tuinman Joseph Monier op een goede dag in 1867 geen schoon genoeg had van steeds weer lekkende tuinbakken. Hij zocht de oplossing voor dit probleem in vernieuwing en maakte plantenbakken van gevlochten ijzerdraad en beton.

Dit nieuwe constructiemateriaal, gewapend beton, bleef ook voor de bouwsector niet onopgemerkt. Het was goedkoop, de voorraad onuitputtelijk en eenvoudig te maken in elke gewenste vorm. Het bood bovenal de mogelijkheid om te voldoen aan een lang gekoesterde wens tot het ontwerpen van onbrandbare constructies met grotere overspanningen dan tot die tijd mogelijk waren. Een mooi voorbeeld



Figuur 1

Stoomspinnerij Twente in Almelo (Ahrend Beltman, 1914)

hiervan is de vlakke plaatvloer in het gebouw van de Rijkspostspaarbank in Amsterdam (1899), met een voor die tijd ongekennde overspanning van ruim 8 meter. In dit verband mag ook de aanpak van Hennebique, een tijdgenoot van Monier, niet onbesproken blijven [2,3,16]. Zijn ontwerpen bestonden uit een monolithische constructiewijze met kolommen, balken en vloeren, allen van gewapend beton. Ook hiermee kon de vrije ruimte tussen de kolommen aanzienlijk worden vergroot [5]. Zoals Stoomspinnerij Twente in Almelo, ontworpen door architect Ahrend Beltman in 1914 (figuur 1).

De nadrukkelijke wens om te komen tot andere constructietechnieken en het vermogen van de bouwheren om voor de oplossing verder te kijken dan de eigen omgeving, heeft aan de basis gelegen van het meest gebruikte constructiemateriaal wereldwijd. Natuurlijk heeft de tijd van de wederopbouw daarbij net dat toevallige duwtje gegeven in goede richting.

### **Vastleggen van ervaringen**

De toepassing van gewapend beton leidde nationaal en internationaal tot de behoefte om de opgedane ervaringen vast te leggen in voorschriften. De eerste betonvoorschriften, voor het ontwerpen en vervaardigen van gewapend beton, dateren uit 1912. De eerste uitgave van de Nederlandse Gewapend Betonvoorschriften (GBV) was een handzaam boekje op zakformaat, met praktische voorschriften op het gebied van technologie, uitvoering en berekening [2,3]. De voorschriften waren geschikt voor zowel het ontwerpen als het toetsen van betonconstructies.

Het ontstaan van de betonvoorschriften riep echter ook vragen op. Er waren zorgen dat het de vernieuwing in de weg zou kunnen staan. Hordijk wees in zijn intreedende aan deze universiteit in dit verband op een artikel uit het Bouwkundig Weekblad in 1905. Daarin werd kritiek geuit op het feit dat men een proeve van de ‘Pruisische Betonvoorschriften zonder enige vorm van commentaar’ in hetzelfde weekblad had afgedrukt [4]. Hij citeert: “Gezorgd moet worden dat de bepalingen elastisch zijn, opdat zij de industrie, waarin zich dagelijks nieuwe gezichtspunten voordoen, niet knellen en aan nieuwere constructiewijzen kan aanpassen.”

### **Invloed van de wetenschap**

De latere versies van de betonvoorschriften bevatten aanvankelijk nog vooral een weerslag van de opgedane ervaringen in de praktijk. Vanaf de betonvoorschriften uit 1950 wordt de invloed van wetenschappelijk onderzoek meer en meer zichtbaar.

Om dit moment in een beter historisch perspectief te plaatsen, ga ik met u terug naar een fragment uit de inaugurale rede ‘Tussen professie en profeten’ van prof.ir. G.S. Bos [6]. In deze rede neemt hij de toehoorders mee langs een schutting waarop de ontwikkeling van de civiele techniek in de tijd is weergegeven. “Bijzonder duidelijk ziet u, hoe lang de periode is waarin werken van ingenieurskunst gemaakt werden louter met genie, intuïtie en ervaring; hoe kort geleden het is dat de wetenschap is komen helpen en dat ook hierin de groei verliep volgens een steeds sneller stijgende kromme.” Goosen Bos refereert aan het moment waarop Paus Benedictus XIV zich wat ongerust begon te maken over de koepel van de Sint Pieter. “Als grondslag voor de herstelwerkzaamheden gaf de paus omstreeks 1750 niet drie architecten of ingenieurs, maar drie wetenschapsmannen opdracht om over de oorzaken van scheuren en beschadigingen te rapporteren. Kenmerkend voor deze mijlpaal zijn de excuses die de geleerden aanbieden aan de ingenieurs-professie van die dagen, dat ze het wagen zich op volstrekt nieuwe wijze met het bouwen te bemoeien. Echter, deze drie mathematici hebben in de eerste wetenschappelijk-technische berekening iets gedaan dat typisch is voor het ingenieurs-denken, ze schreven: het is niet voldoende dat men de zaak in evenwicht houdt, men moet de weerstanden verdubbelen, met andere woorden: men moet een veiligheidscoëfficiënt van 2 toepassen.”

Het is ook in het jaar 1950 dat de Commissie voor Uitvoering van Research (CUR) is opgericht. De CUR gaat zich vanaf dat moment in ons land toeleggen op de ontwikkeling en verspreiding van wetenschappelijke kennis op het gebied van betonconstructies. Constructief beton werd zo geleidelijk van een simpel en vooral praktisch bouw materiaal, een heuse wetenschap. De wetenschappelijke kennis vond vervolgens zijn weg, via de voorschriften, naar de pioniers in de markt. Daarbij geholpen door goede toelichtingen, die mede werden opgesteld door de onderzoekers zelf.

### **Ontsluiten van kennis**

Honderd jaar na de introductie van de GBV 1912 zijn de nationale normen voor het eerst vervangen door Europese normen. Hoewel voor velen toch nog onverwacht, een ontwikkeling die al met de introductie van de GBV 1962 geleidelijk in gang was gezet. De invoering van de Eurocode verdient hier een bijzonder woord van dank voor allen die er een bijdrage aan hebben geleverd.

De opstellers hebben ervaren dat nieuwe betonvoorschriften in toenemende mate tegengestelde belangen moeten dienen [7]. De belangen lopen uiteen van een snel toepasbaar tot een compleet wetenschappelijk naslagwerk. De voorschriften



moeten eenvoudig zijn in het gebruik, maar tegelijk veel ruimte bieden aan optimalisatie en innovatie. De Eurocode verenigt in zekere zin beide en wordt als gevolg hiervan door de ene gebruiker als erg wetenschappelijk ervaren, terwijl voor een andere gebruiker de wetenschappelijke informatie nog te beperkt is. Vanuit het eerder geschetste historisch perspectief, is de verwachting dat de invloed van de wetenschap alleen maar groter wordt. Ook nu weer moet er dus voor worden gewaakt dat de betonvoorschriften niet gaan knellen.

Dit pleit in toekomstige versies voor een opzet met vooral handzame en eenvoudige toetsen voor iedereen die vooral gebruik wil maken van opgedane ervaringen in het verleden. Daarnaast zouden de voorschriften helder geformuleerde prestatie-eisen moeten bevatten die ruimte bieden aan innovatie. Los daarvan zou een ontwikkeling op gang moeten komen om wetenschappelijke kennis beter te ontsluiten voor de pioniers in de markt en aan degene die deze innovatieve ontwerpen moeten toetsen. De ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis is internationaal gezien sowieso te groot om nog te denken in termijnen van nieuwe normen elke tien jaar. Om nog maar te zwijgen over de gevolgen van de consensus die nu eenmaal hoort bij harmonisering van voorschriften tussen vele landen.

# Trends en ontwikkelingen

De huidige economische crisis treft de bouwsector momenteel hard. De gebiedsontwikkeling en grootschalige herontwikkeling zijn in een korte tijd vrijwel stil komen te liggen. De focus verschuift door de voortgaande verstedelijking naar de bestaande stad. Deze situatie leidt tot een sanering over de volle breedte van de branche. Dit treft ook vele talentvolle vakmensen. Talent dat hard nodig is als het tij weer keert.

De waarde van constructieve veiligheid in onze maatschappij devalueert, door een vermeend gevoel van veiligheid. Veiligheid die in het verleden is bereikt door de juiste aandacht en dankzij goed vakmanschap. Het budget voor de constructeur wordt echter steeds verder beperkt en er is sprake van een toenemende inflatie van het takenpakket. Het imago van de constructeur loopt bovendien elke keer weer een deuk op als een calamiteit de pers weet te halen. Als het goed gaat, is het vanzelfsprekend, gaat het fout, dan is het zijn of haar schuld. Er is de afgelopen jaren veel gedaan vanuit de branche om de gevolgen van deze ontwikkeling te bestrijden en de constructieve veiligheid blijvend te borgen. Zoals de oprichting van het platform Constructieve Veiligheid met het ABC-meldpunt, het Constructeursregister RC/RO en VNConstructeurs. Deze goede initiatieven nemen echter het gevoel nog niet weg dat er ook in de basis iets moet veranderen. Dit start met het nemen van verantwoordelijkheid. De opdrachtgever is verantwoordelijk als aanvrager voor een vergunning op zijn gebouw. De constructeur is verantwoordelijk als ontwerper, omdat de constructieve kennis van het gebouw bij hem of haar berust en bij niemand anders.

De Ridder gaat een stap verder en stelt in zijn boek 'LEGOLisering van de bouw', dat de huidige bouw haar houdbaarheidsdatum heeft overschreden [9]. In deze opvatting staat hij helaas niet alleen, getuige de veelheid aan boeken en publicaties die hierover verschijnen. De toon is veelal hetzelfde. De bouw heeft een imago van ambachtelijk, traditioneel, gefragmenteerd, hoge faalkosten en wantrouwen. Werk wordt verkregen in een moordende concurrentie op de laagste prijs, met voorspelbare gevolgen voor de kwaliteit.

Het voorgaande illustreert de veranderingen in de bouwsector op dit moment. De vraag is hoe we hier mee om moeten gaan? Johnson en Blanchard geven vanuit een breder bedrijfskundig perspectief antwoord op deze vraag in het boek 'Wie heeft mijn kaas gepikt?'. Het verhaal gaat over twee muizen (Snel en Snuffel) en twee minimensjes (Peins en Pieker). Ze woonden in hetzelfde huis en waren daar elke dag op zoek naar kaas. Op een bepaald moment vonden ze een plek met elke dag verse kaas. Ze hoefden niet meer te zoeken. Ze verhuisden naar een plekje dichtbij de kaas en richtten hun hele leven hier op in. Ze beschouwden de kaas als hun kaas.

Op een dag was de kaas op. Peins en Pieker vonden het niet eerlijk dat hun kaas er ineens niet meer was. Ze hadden recht op die kaas en besloten het tot op de bodem uit te zoeken. Na dagen van peinzen en piekeren ontstond het besef dat, ondanks alle overwegingen, de honger nog steeds niet was gestild. Het werd alleen maar erger. De muizen Snel en Snuffel reageerden anders. Ze zagen dat de omstandigheden waren veranderd en gingen op zoek naar nieuwe kaas. Na dagen zoeken vonden ze, moe maar voldaan, een nieuwe plek met kaas [8].

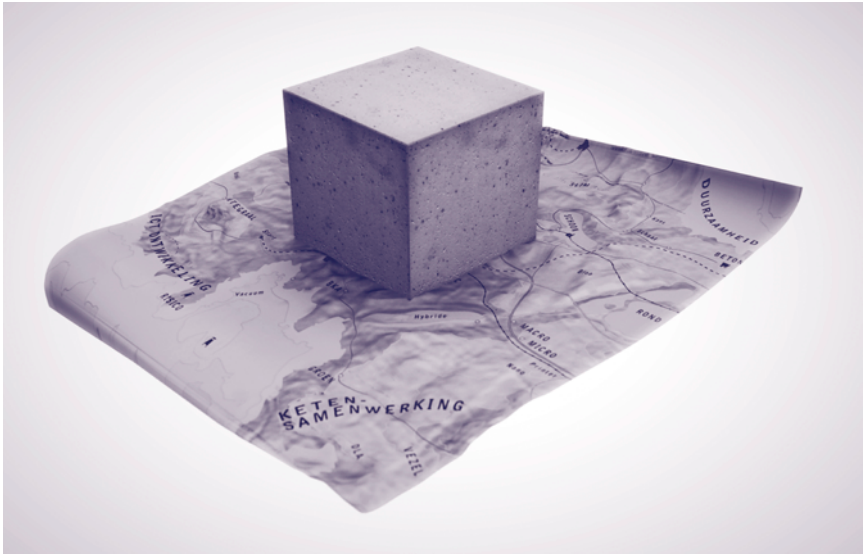
Snel en Snuffel geven ons een antwoord op de vraag hoe om te gaan met de veranderingen in de bouwsector. Niet wachten op het terugkeren van goede tijden, maar actief op zoek naar hele nieuwe kansen. Dit geldt ook voor de wereld van constructief beton. Brede maatschappelijke trends en ontwikkelingen bieden hierbij een eerste aanwijzing waar de nieuwe kansen mogelijk liggen.

Ik heb dit geïllustreerd met een betonkubus, als symbool voor de wereld van constructief beton, midden in een landschap (figuur 2). Ik schets u een paar interessante trends en ontwikkelingen, in de wetenschap dat dit slechts een persoonlijke keuze is.

### **Ketensamenwerking**

De eerste trend, die niemand zal zijn ontgaan, is ketensamenwerking [10]. Meer onderling vertrouwen en samenwerking, transparanter, levenscyclusbenadering, betere prestaties en innovatie. Allemaal zaken waar niemand tegen kan zijn, maar hoe vul je het in? In de praktijk krijgt dit geleidelijk vorm door initiatieven van zowel opdrachtgevers als de marktpartijen.

De initiatieven aan de zijde van de opdrachtgevers hebben veelal betrekking op nieuwe vormen van aanbesteden, waarbij ontwerp en uitvoering in één hand liggen. Integrale contractvormen zijn in de civiele techniek al meer dan een decennium ingeburgerd. De utiliteitsbouw ijlt na. Ook al gaat deze ontwikkeling nu snel, in de civiele techniek wordt al weer volop geëxperimenteerd met nieuwe



Figuur 2

Betonkubus, als symbool voor constructief beton, midden in de maatschappij

contractvormen waaronder Best Value Performance (BVP). Bij deze contractvorm is er sprake van een vergaande samenwerking in de keten. Het is beter in dit verband te spreken van ketenintegratie. De vraag is niet óf de grote opdrachtgevers in de utiliteitsbouw en woningbouw dit voorbeeld gaan volgen, maar wanneer? Marktpartijen krijgen door deze integrale ontwikkelingen meer ruimte om het product te verbeteren en processen efficiënter in te richten. De integratie heeft ook gevolgen voor de rol van de constructeur in een project. Meer dan nu het geval is, wordt een beroep gedaan op een goede communicatie. Varianten moeten worden ontwikkeld en de consequenties inzichtelijk gemaakt. Het constructief ontwerp moet niet alleen voldoen aan vorm en functie, maar ook zijn afgestemd op de specifieke uitvoeringskennis van de aannemer. Vooral bij herhaalde samenwerking komt hierbij een proces op gang van optimalisatie en innovatie. De samenwerking in de keten gaat hand in hand met de implementatie van Bouw Informatie Modellen (BIM). Ook hier verandert de rol van de constructeur. In welke mate maakt hij of zij gebruik van de koppeling van ontwerp en rekenprogramma's en op welke wijze wordt constructieve kennis gekoppeld en overgedragen via het informatie-model?

De initiatieven van de zijde van de markt hebben een ander karakter en leiden vooral tot standaardisatie. Een voorbeeld hiervan is het Living Building Concept waarbij wordt gestreefd naar industrieel vervaardigd flexibel maatwerk [9]. Verschillende marktpartijen ontwikkelen al complete bouwsystemen, gebruikmakende van parametrische kennismodellen. De rol van de constructeur zal hierbij wezenlijk veranderen. De focus ligt op het behalen van een concurrentievoordeel door productontwikkeling. Constructies moeten volledig worden geoptimaliseerd, omdat elke ruimte kansen biedt aan de concurrent. Dit vraagt om een goede afsluiting van de laatste stand van wetenschappelijk onderzoek en initiatie van nieuwe wetenschappelijke onderzoeken. Voor onze universiteit betekent deze ontwikkeling een toename van contractresearch. De opgedane kennis zal echter niet meer als vanzelfsprekend beschikbaar zijn voor de gehele gemeenschap.

### **Duurzaamheid**

De ontwikkeling van gewapend beton heeft historisch gezien een duwtje in de rug gekregen door de hoge mate van duurzaamheid ('durability') die er aan werd toegekend. Zonder aan het belang van deze definitie van duurzaamheid ook maar iets af te willen doen, wordt hier gedoeld op het belang van een duurzame ontwikkeling in relatie tot het milieu ('sustainability'). Groen beton, in plaats van grijs beton.

Hoog op de politieke agenda staat daarbij de vervuiling, in de vorm van de uitstoot van CO<sub>2</sub>. De productie van cement is wereldwijd verantwoordelijk voor 5% van de antropogene emissie aan CO<sub>2</sub>. Dit komt doordat de productie van portlandklinker gepaard gaat met hoge temperaturen en bij de ontleding van de kalksteen CO<sub>2</sub> vrijkomt. In Nederland wordt door de inzet van vervangende puzzolane en hydraulische stoffen, zoals hoogovenslak en poederkoolvliegias, het aandeel portlandklinker in beton gereduceerd. Dit heeft een gunstig effect op de carbon footprint van beton in ons land.

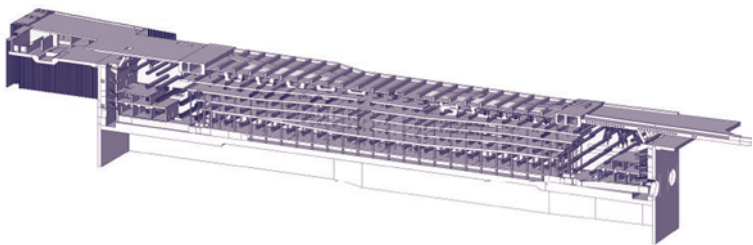
De carbon footprint is echter maar één aspect van de duurzaamheid van een materiaal. De volledige milieuscore van een materiaal is afhankelijk van de toepassing waarin het wordt gebruikt en moet worden beoordeeld ten opzichte van andere materialen die dezelfde functie leveren [11]. Dit kan met behulp van een levenscyclusanalyse (LCA). Aangezien beton in veel gevallen een constructieve functie heeft, ligt hier een nieuwe en integrale taak voor de constructeur. In de hedendaagse praktijk beperkt de constructeur zich nog te vaak uitsluitend tot de keuze voor betongranulaat en de toepassing van betonkernactivering. Goede keuzes, maar de plaat blijft iets te lang hangen in dezelfde groef.

De constructeur kan zoveel meer betekenen door al in de vroege ontwerpfase doelbewust te rekenen aan de milieulast van de betonconstructie. Denk hierbij aan een bewuste keuze van het gekozen draagsysteem, aandacht voor flexibiliteit, materiaalverbruik, optimalisatie van de doorsnede, een afweging tussen gangbare en alternatieve betonsoorten, lichter bouwen, mogelijkheden tot hergebruik en allerlei vormen van retrofitting. In dit opzicht is het initiatief tot en de grote belangstelling voor een gecombineerde studiecél van de beroepsverenigingen Stutech en Stufib als zeer positief te noemen [12].

Ik wil dit initiatief ondersteunen en naast de bekende prestatie-eisen ook de 'environmental limit state' (ELS) op de agenda van nieuwe betonnormen proberen te krijgen. Uitdagend, goed voor het milieu en het imago van beton en, niet onbelangrijk, met goede kansen tot externe financiering van onderzoek.

### ICT-ontwikkeling

In 1907 merkte ir. S.J. Rutgers bij zijn ambtsaanvaarding als docent aan de (toenmalige) Technische Hogeschool in Delft op, dat ontwerpen in gewapend beton gebaseerd waren op het constructief gevoel. Dit laatste geschiedde volgens hem zonder dat er sprake was van een behoorlijke theoretische achtergrond, wat vooral bij beton tot bedenkelijke constructies kan leiden. Het omgekeerde was echter nog bedenkelijker: wel in staat zijn ingewikkelde berekeningen uit te voeren, maar niet het gevoel bezitten voor het betrekkelijke van de berekeningsresultaten. Daarom waarschuwde hij: “....omdat aan een berekening die werkelijk alle factoren in aanmerking neemt, eenvoudig niet te denken is. Het streven daarnaar is niet in overeenstemming zijn met het karakter van het materiaal, waarvan de eigenschappen in zo hoge mate afhankelijk zijn van de kwaliteit van de grondstoffen.” [13]



Figuur 3

Bouw informatiemodel, station Rokin Noord/Zuidlijn Amsterdam

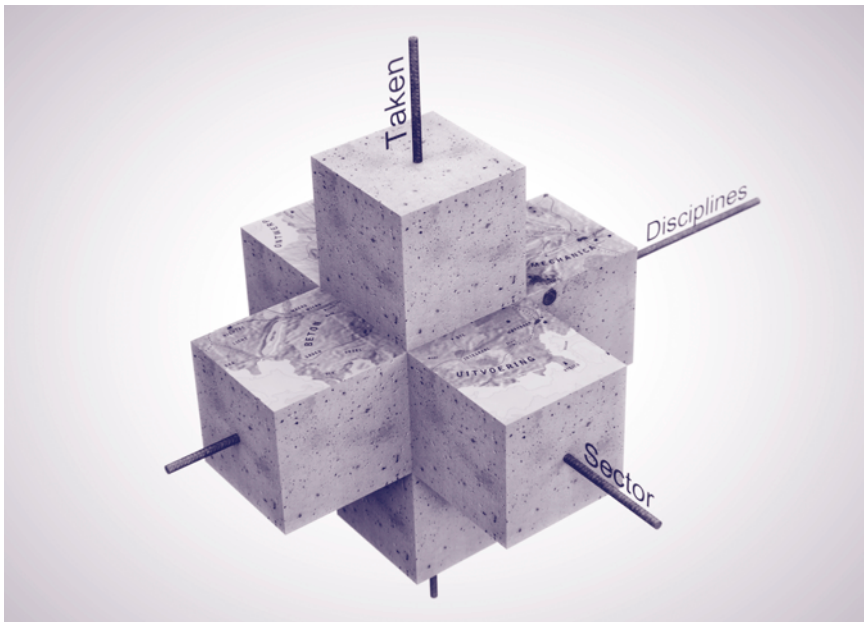
Hij kon toen niet bevroeden welke berekeningen ruim 100 jaar later mogelijk waren dankzij de stormachtige ontwikkeling van de ICT. Niet-lineaire elementen methoden en stochastische rekenmodellen dragen in belangrijke mate bij aan de hedendaagse opbouw van kennis over het gedrag van betonconstructies. Zijn zorg blijft echter overeind. Hierop kom ik later nog terug. Hier beperk ik me alleen tot de vraag: hoe kunnen we borgen dat het bevoegd gezag dergelijke berekeningen ook nog kan toetsen?

Tot slot. De ontwikkeling van de ICT heeft niet alleen grote gevolgen voor de rekenmodellen. Zo zullen naar mijn stellige overtuiging bouw-informatiemodellen zich verder ontwikkelen (figuur 3). Ook praktische toepassingen van 'augmented reality' komen in zicht, waardoor op de bouw een eenvoudige visuele controle mogelijk is op de uitvoering van de wapening. ICT-ontwikkelingen zullen bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe meettechnieken. Dit stelt ons in de toekomst in staat meer en meer te meten aan het gedrag van werkelijke betonconstructies.

# Uitdagende opgaven

We bespraken enkele algemene trends en ontwikkelingen die van invloed zijn op de wereld van beton en betonconstructies. We gaan nu een stapje verder om te zien wat er zich afspeelt in de directe omgeving van mijn leerstoel aan deze universiteit. Met welke gebeurtenissen moeten we rekeninghouden en waarop kunnen we zinvol inspelen? Dat is geen uitgemaakte zaak. Dat is een zoektocht, elke dag weer. Zoals Goosen Bos langs een schutting liep, maak ik nu met u een tocht door de wereld van beton. Mijn wereld van beton.

Daartoe volstaat het niet langer de wereld van buiten te bezien, zoals in figuur 2. We kijken nu naar de wereld die zich in die kubus bevindt. Mijn directe omgeving. Het eerste dat hierbij opvalt, is dat mijn leerstoel veel raakvlakken kent met flankerende vakgebieden. Binnen de sector zijn er raakvlakken met het ontwerp aan



Figuur 4

De betonkubus van binnen, als symbool voor de wereld van constructief beton



één kant en met de uitvoering aan de andere kant. Als we kijken naar de disciplines zijn er sterke raakvlakken met de vakgebieden mechanica en materiaal-kunde, met in het bijzonder betontechnologie. Dit zijn twee van de drie assen die zijn weergegeven in figuur 4. De derde as bespreken we later.

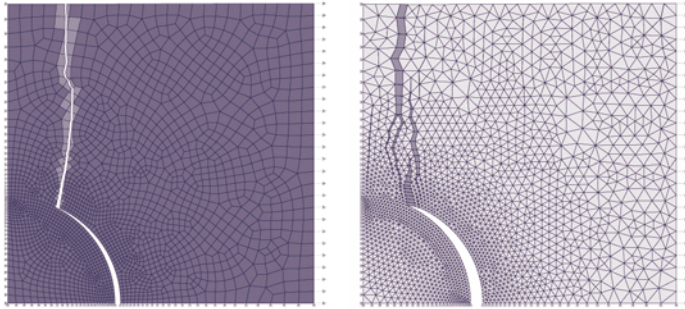
In mijn inleiding citeerde ik Frederic Gros. Hij stelt dat wie wandelt, niet kijkt naar het landschap, maar er deel van uitmaakt. Ik maak u graag deelgenoot van het landschap waarvan mijn leerstoel deel uitmaakt. We maken daarvoor een korte wandeling langs nieuwe paden die ik aan het ontdekken ben, in het besef dat de wandeling nog maar net is begonnen. De wandeling voert ons langs de flankerende vakgebieden die ik zojuist noemde.

### **Mechanica**

We starten onze wandeling in het aangrenzende vakgebied mechanica. We zien hier, door de ogen van de betonconstructeur, op het eerste gezicht een vertrouwd landschap. De sporen van de grote veranderingen die de numerieke modellen hebben aangericht, zijn alweer begroeid en lijken een natuurlijk onderdeel uit te maken van de omgeving. Als we verder kijken, valt echter op dat er nieuwe en verse sporen zijn.

De ontwikkelingen in de ICT stellen ons, naast lineair elastische berekeningen, in toenemende mate in staat ook gedetailleerde niet-lineair elastische berekeningen te maken van betonconstructies. Dit leidt ertoe dat analyses kunnen worden gemaakt die ir. S.J. Rutgers destijds niet voor mogelijk hield. Interessant voor mijn leerstoel is vooral de simulatie van scheurvorming. Naast het wandelpad van ervaring en proeven ligt een snelweg naar kennis, die volgt uit de bundeling van hoogwaardige experimenten en numerieke simulaties.

Ik geef u hiervan een voorbeeld. Momenteel wordt door studenten ervaring opgedaan in het gebruik van contactelementen en modellen zoals de eXtended Finite Element Method (XFEM). Een numerieke techniek waarbij scheuren kunnen worden gemodelleerd, onafhankelijk van de toegepaste 'mesh' in het model [14]. Dit is mogelijk doordat de aanvullende verplaatsingsfunctie aan de elementen wordt toegevoegd. De initiatie en ontwikkeling van de scheurvorming kan hierdoor onafhankelijk van de toegepaste 'mesh' optreden. Deze methode wordt onder meer toegepast in onderzoek naar de onthechting van oplijmwapening bij het extern versterken van bestaande betonconstructies (figuur 5).



Figuur 5

Verschillende numerieke simulaties van scheurvorming  
(Bron: Steven Schoenmakers, student TU/e)

Echter, als we niet oppassen, struikelen we over deze nieuwe sporen. Ze zijn ver-  
raderlijker diep. Achter de ogenschijnlijke eenvoud waarmee modellen en bereke-  
ningen, dankzij handige preprocessoren, kunnen worden gemaakt, schuilt een  
niet te onderschatten gevaar. Output is gegarandeerd, maar nog veel meer dan  
bij lineair elastische berekeningen is het de vraag wat de waarde ervan is? Het  
gebruik van deze modellen vergt een wetenschappelijke grondhouding, waarbij  
stap voor stap de juistheid van de berekeningsresultaten moet worden geverifi-  
eerd. Dit vergt tijd, veel tijd. Tijd die er in projecten in de dagelijkse praktijk helaas  
vaak niet is. Natuurlijk moeten deze technieken worden gebruikt om in projecten  
grenzen te verleggen. Het is echter raadzaam deze modellen vooraf te ontwikkelen  
en te valideren, als onderdeel van een bedrijfsstrategie, alvorens toe te passen in  
projecten.

Met al deze mooie, nieuwe ontwikkelingen zouden we haast vergeten nog even  
stil te staan bij de lessen uit het verleden. We hoeven daarvoor niet ver te gaan.  
Om de hoek zien we een grote archeologische vindplaats. Hier zijn de resten van  
de grafostatica opgegraven. De tijd dat constructeurs de krachten in een vakwerk  
berekenden met een cremona lijkt al ver achter ons te liggen. Niets is echter min-  
der waar. De oude technieken bieden ons in een nieuw jasje (ICT) een uitstekend  
middel om veilige constructies te ontwerpen in plaats van de aandacht te veel te  
richten op doorsnede berekeningen. De constructievorm is hier een direct gevolg  
van de wijze van krachtsafdracht. De hernieuwde toepassing leidt tot interessante  
en meer organische vormen. Het vormt de basis tot studies naar materiaal-  
besparingen, nog zonder dat het materiaal zelf er aan te pas komt.

## Betontechnologie

We zetten onze tocht voort en komen in de wereld van de betontechnologie. Er is hier bijna geen doorkomen aan. Het hele landschap wordt op de schop genomen en het einde lijkt nog lang niet in zicht. Traditioneel en grijs wordt hier in een rap tempo vervangen door hightech en groen. De mooiste veranderingen lijken van alle kanten tegelijk te komen.

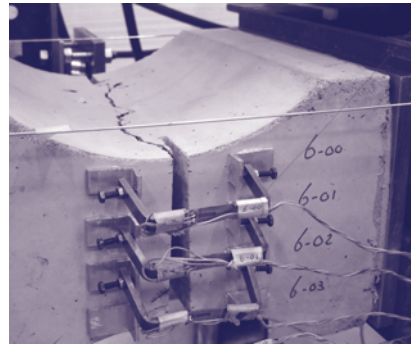
Een deel van de veranderingen is het logische gevolg van het streven naar meer duurzame betonsoorten. De eerste winst valt immers te halen in het materiaal zelf. We zien op mesoniveau een verdere ontwikkeling van het hergebruik van secundaire materialen. In een ander deel van het landschap wordt op microniveau onderzoek gedaan naar de optimale pakking van bindmiddelen en cementvervangende materialen, inclusief geopolymeren. Bij de constructeur in mij doemt de vraag op, welke gevolgen deze ontwikkelingen hebben voor de eigenschappen van constructief beton op macroniveau? En welke nieuwe mogelijkheden bieden deze materialen voor constructievormen in beton? Zonder twijfel voor mij een interessant en uitdagend onderzoeksgebied.

Het onderzoek binnen de leerstoel richt zich momenteel op vezelbeton (figuur 6). Dit is een direct gevolg van de huidige belangstelling vanuit de markt. Zo wordt numeriek onderzoek uitgevoerd naar de bijdrage van staalvezels aan de weerstand tegen dwarskracht in balken. Daarnaast wordt gewerkt aan een model, op basis van de plasticiteitstheorie, met als doel de economische haalbaarheid van het hybride wapenen van vlakke plaatvloeren te achterhalen. Naast deze praktijkgerichte onderzoeken worden meer fundamentele onderzoeken uitgevoerd met als doel de constructieve kennis van dit materiaal te vergroten. Een voorbeeld hiervan is een onderzoek naar de verdeling en oriëntatie van de vezels. De aandacht gaat hierbij uit naar de wijze waarop dit kan worden beïnvloed en vooral ook naar de gevolgen van de vezeloriëntatie op de materiaaleigenschappen. Een tweede voorbeeld betreft onderzoek naar het al dan niet blijvende ductiele gedrag van staalvezelbeton onder meerassige belastingen. Bij deze onderzoeken wordt dankbaar gebruikgemaakt van de eerder genoemde numerieke middelen en de beschikbaarheid van een uitstekend laboratorium.

Als we een van de vele bouwplaatsen in dit landschap betreden, zien we dat de ontwikkelingen ook een sterke relatie hebben met veranderingen in de uitvoering. We zien de toepassingen van zelfverdichtend- en zelfherstellend beton. We zien er geprefabriceerde kunststof wapeningskorven (figuur 6). Zou men dit in de

toekomst kunnen vervaardigen van bio plastics en vervolgens op de bouwplaats kunnen printen? Niets lijkt hier onmogelijk.

De tijd is beperkt. We gaan daarom voorbij aan C2C-beton, growcrete, olivijnbeton en thincrete. Heel even houden we halt bij isolerend lichtbeton, toegepast als schoonbeton in monolieten gevels. Zien we hier de opleving van onderzoek naar lichtbeton? Hier wil ik zeker nog eens op terugkomen.



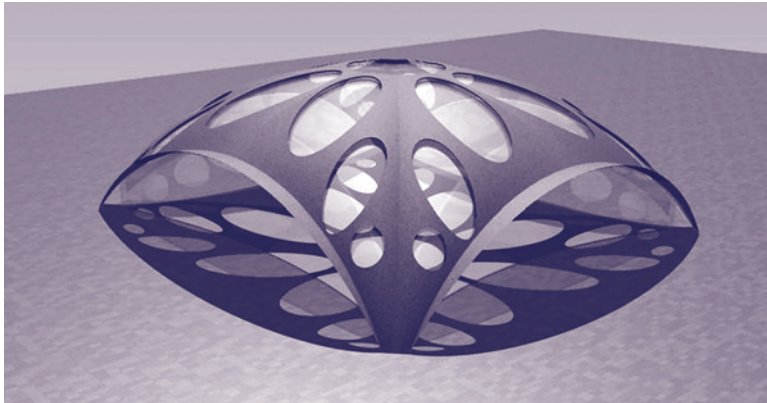
Figuur 6

Links : Kunststof wapening  
 Rechts : Experimenteel onderzoek naar staalvezel gewapend beton  
 (Bron: Jeroen Hendriks, student TU/e).

## Ontwerp

Het is tijd om even bij te komen en te genieten van mooie uitzichten. Daarvoor hebben we voldoende gelegenheid als we het gebied van ontwerp betreden. Nieuwe vrije vormen, schalen en blob-architectuur doemen op (figuur 7).

In de beginjaren van gewapend beton leefde in de architectuur de gedachte dat de esthetiek ondergeschikt werd gemaakt aan goedkopere, brandveilige, waterdichte en robuuste gebouwen met grotere overspanningen. “Het grauwe gevaar veront-rust den liefhebber van onze Nederlandse architectuur”, zo schreef men uitgerekend in 1912 [15]. De geschiedenis heeft ons inmiddels geleerd dat ontwerpen in schoonbeton zich niet in de eerste plaats onderscheiden door het materiaal, maar door de vorm die er aan wordt en kan worden gegeven. Nervi, Le Corbusier, Candela, Freyssinet en Niemeyer hebben hiervan sprekende voorbeelden achtergelaten. Het is alweer een tijdje geleden dat deze architecten de esthetische waarde van schoonbeton hebben ontdekt. Dit verklaart voor een deel het imago van saai en grijs voor beton. De ontwerpen van Calatrava zijn hierop een positieve uitzondering.



Figuur 7

Schaalconstructie, gedeeltelijk ontworpen met behulp van een parametrisch kennismodel.  
(Bron: Jeroen Koeken, student TU/e)

Bij een bruggetje over het water zien we hogesterktebeton (HSB), dat we in al het geweld bij de materialen over het hoofd hebben gezien. Hoe is het mogelijk? Denk eens even aan de mogelijkheden van HSB in de gebouwen. Naast totaal nieuwe vormen ontstaat er door de geringere afmetingen meer ruimte op de onderste verdieping van hoge gebouwen met alle economische voordelen van dien. De betonconstructeur wordt in dit deel van het landschap nadrukkelijk uitgedaagd om buiten de paden te treden. Hier komt het aan op constructief inzicht en op constructief ontwerpen.

### **Uitvoering**

In dit laatste landschap mag ik graag vertoeven. De natuur is er door alle bouwactiviteiten tijdelijk misschien niet op zijn mooist, maar dat betekent niet dat er geen mooie dingen ontstaan. Voor wie dit landschap aanschouwt, wordt snel duidelijk dat het mooi mag zijn, maar dat het ook maakbaar moet zijn.

Cees Kleinman schreef eens in een redactioneel commentaar in het vakblad Cement daarover het volgende: “Beton dat je als het ware door je handen voelt glijden, dat je kunt modelleren in iedere vloeibaarheidsvorm om het daarna te zien verharden, dat is het ware genot. Het wonder dat als het cadeaupapier, lees bekisting, om het presentje wordt verwijderd en het constructiedeel zich in al zijn schoonheid aan je openbaart, mag voor mij eeuwig blijven bestaan.”

Een uitdaging ligt in de ontwikkelingen van nieuwe bekistingstechnieken. Wie zich verdiept in het BetonBallon-Concept, vacuumatics, textielmallen en kabelnetten begrijpt dat hier ook nieuwe uitdagingen liggen voor de constructeur.

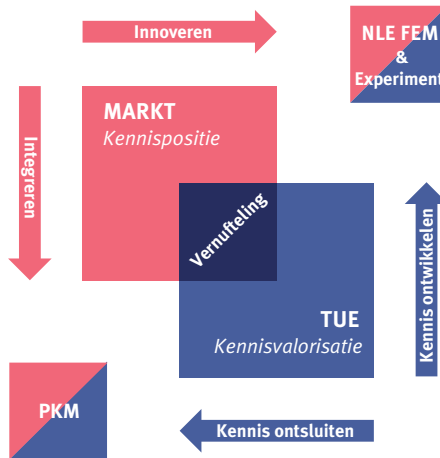
Als we even de tijd nemen en verder om ons heen kijken, valt op dat op de grens van het landschap van ontwerp en in de omgeving van de prefabindustrie, een geheel nieuw type gebouwen ontstaat. Voorzichtig weliswaar, maar zeker interessant voor de leerstoel. De gebouwen zijn industrieel maatwerk, het resultaat van zorgvuldige productontwikkeling en ketenintegratie. Interessant hieraan voor de betonconstructeur is dat, meer dan voorheen, een beroep op hem of haar wordt gedaan om de constructie volledig te optimaliseren. Niet alleen, maar in samenwerking met alle andere disciplines. De kennis en ervaringen binnen deze universiteit met industriële bouwwijzen (slim bouwen) biedt perspectieven.

# Onderwijs en onderzoek

In het voorgaande betoog heb ik u kort meegenomen in het sentiment dat er heerst in de bouwsector op dit moment. Dit gegeven kwam voor u niet als een verrassing. Aan de hand van de parabel over het onrecht over de vermiste kaas wilde ik echter duidelijk maken dat niet de situatie waarin de sector verkeert er zo zeer toe doet, maar de wijze waarop we daar mee omgaan. Grofweg zijn de keuzes: wachten op het aantrekken van de markt en de productie weer hervatten of andere wegen zoeken, innoveren en integreren. Wachten lijkt daarbij geen optie omdat de bouwsector hoe dan ook zal veranderen door ketenintegratie, toenemende aandacht voor duurzaamheid en door de snelle ontwikkelingen op het gebied van ICT.

Ik gaf u een kijkje in het landschap van mijn leerstoel en liet u zien welke onderzoeken er momenteel lopen. Ik beschreef welke uitdagende prikkels ik ervaar op de raakvlakken van mechanica, betontechnologie, ontwerp en uitvoering. Op elk van de raakvlakken doen zich prachtige uitdagingen voor. De uitdagingen hebben allemaal in meer of mindere mate een relatie met de eerder geschetste ontwikkelingen en trends in de maatschappij. Het gaat te ver deze relaties hier nu uit te leggen. Belangrijker is dat ik de stelling aandurf dat een onderneming die één van deze uitdagingen daadwerkelijk oppakt, een unieke kennispositie kan opbouwen. Kennis als de sleutel van het doosje met kansrijke innovaties.

Wat leren de beschreven lessen uit het verleden ons? In de eerste plaats dat het soms een beetje mee moet zitten en de gang van zaken soms mede bepaald wordt door gebeurtenissen van buitenaf. De geschiedenis liet echter vooral zien dat met de komst van de wetenschap de opbouw van kennis steeds sneller groeit. Ik neem aan dat u dit herkent en wel eens verzucht dat het niet meer allemaal bij te houden is. Nieuwe wetenschappelijke kennis is uitermate waardevol voor vernieuwing, maar kan in de toekomst niet langer ontsloten worden via de voorschriften. Als voorschriften zich (weer) zouden richten op het delen van ervaring, dan moet wetenschappelijke kennis op een andere manier worden ontsloten voor pioniers in de markt.



Figuur 8

Innovatie en kennisvalorisatie

Dit alles leidt tot de conclusie dat deze leerstoel met onderwijs en onderzoek een bijdrage wil leveren aan innovaties in de betonsector en waar mogelijk de keten-integratie wil helpen bevorderen. Dat gebeurt door doelgericht en met oog voor belangen van de markt, nieuwe kennis te ontwikkelen en wegen te vinden om bestaande kennis beter te ontsluiten voor de markt. De wijze waarop ik hierop wil inspelen in mijn onderwijs en onderzoek aan deze universiteit licht ik tot slot graag nader toe.

### Bestaande kennis ontsluiten

Het doel is wetenschappelijke kennis op het gebied van constructief beton op een zodanige wijze te ontsluiten, dat deze kan worden ingezet binnen projecten. De nadruk ligt hierbij op de vroege ontwerpfasen, omdat daar de grootste winst kan worden behaald.

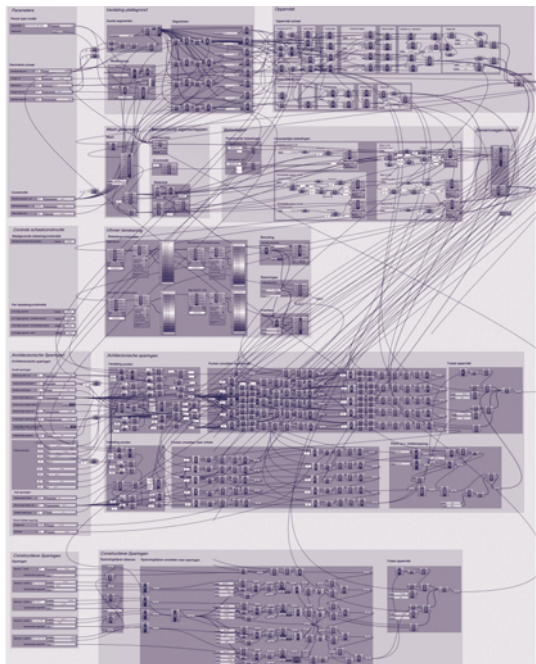
Als middel om deze kennis te ontsluiten, zal naast het stelselmatig opstellen van reviews, vooral gebruik worden gemaakt van parametrische kennismodellen (figuur 9). Door bestaande kennis te ordenen, kunnen nieuwe ideeën ontstaan. De modellen worden modulair opgesteld. Voor de achterliggende rekenmodellen wordt niet alleen gebruikgemaakt van de vervormingsmethode (EEM) maar ook van modellen gebaseerd op de krachtenmethode (grafostatica). Gevalideerde modellen worden ontwikkeld in het kader van master- en afstudeeronderzoeken. Een student die zo afstudeert, noem ik een vernufteling.



De modellen worden ook gebruikt in het onderwijs, om studenten maximaal bewust te maken van de mogelijkheden van beton als constructiemateriaal en aangeboden via de website.

Het ontsluiten van kennis voor de markt heeft echter alleen een kans van slagen als dit samen met de markt wordt opgezet. Kennis is nu eenmaal een zaak van vraag en aanbod. In dit kader kan worden gedacht aan contactmomenten tussen deze universiteit en de marktpartijen in de vorm van afstudeerplaatsen, gast-colleges, business courses en het organiseren van excursies. Graag treed ik over de praktische invulling in overleg met studievereniging Koers.

Rest mij in dit verband nog iets te vertellen over de wijze waarop ik in hoorcolleges kennis wil delen met de studenten. Ik zal geen dictaten gaan schrijven. Het aanbod van goede leerboeken is daarvoor tegenwoordig te groot. Ik bied in plaats daarvan online syllabi aan die inspelen op actuele onderwerpen en die mij bovendien de mogelijkheid bieden voldoende achtergrondinformatie toe te voegen voor iedereen die meer wil weten over een bepaald onderwerp.



Figuur 9

Illustratie parametrisch kennismodel (Bron: Jeroen Koeken, student TU/e).

## **Nieuwe kennis ontwikkelen**

Het doel is wetenschappelijke kennis ontwikkelen op het gebied van constructief beton, die noodzakelijk is voor innovaties in de beroepspraktijk. De nadruk ligt hierbij op onderzoek naar de toepassing van nieuwe en duurzame betonsoorten op het elementniveau.

Om deze kennis te ontwikkelen, zal vooral gebruik worden gemaakt van de combinatie van niet-lineaire eindige-elementen-programma's (EEM) en experimenteel onderzoek. Onze universiteit beschikt over een ervaren en uitstekend geoutilleerd laboratorium. Het voelt als mijn taak om studenten binnen het vakgebied bekend te maken met het juiste gebruik van dergelijke geavanceerde modellen en het uitvoeren van proeven. Dit betekent het aanleren van de juiste wetenschappelijke grondhouding die nodig is om te komen tot betrouwbare gevalideerde modellen. Ook een student die zo afstudeert noem ik een vernufteling.

De eindige-elementen-modellen worden in het kader van onderzoek opnieuw gecombineerd met parametrische kennismodellen. In dit geval niet voor kennisoverdracht, maar met als doel optimalisaties en feed back-analyses mogelijk te maken.

Het ontwikkelen van hoogwaardige wetenschappelijk kennis heeft echter alleen een goede kans van slagen als dit gepaard gaat met promotieonderzoeken. De financiering van dergelijke onderzoeken is niet eenvoudig en vergt naast een grote inspanning ook de nodige creativiteit. Ik vraag daarbij de hulp van een ieder die mij hierbij kan ondersteunen. Ook vraag ik marktpartijen na te denken over de mogelijkheid om medewerkers te laten promoveren naast een baan, naar het model van onze ooster burenen.

## **Tot besluit**

Kijken we aan het einde van deze intreerede terug op de betonkubus, als symbool voor constructief beton, dan zien we de kubus nu stralen (figuur 10). Er wordt veel nieuwe kennis ontwikkeld en ontsloten. Dat maakt het een mooi perspectief voor studenten om deel van uit te kunnen maken.

Toeval bestaat, stelde ik, maar geheel toevallig zijn gebeurtenissen nooit. Beton is grijs, maar het spreekwoordelijke grijze beton bestaat niet als je even verder kijkt. In de woorden van Dichter Gerrit van der Linde, alias Den Schoolmeester, klinkt dit zo: "Het verschil tussen ezels en geleerde doctoren, zit hem soms minder in 't hoofd, dan wel tussen de oren."

# Dankwoord

Ten slotte wil ik nog enkele woorden van dank uitspreken.

Geachte Leden van het College van Bestuur, mijnheer de Rector Magnificus, geachte collega's. Ik spreek mijn dank uit voor mijn benoeming tot hoogleraar aan deze universiteit. Het is bijzonder om na mijn studiejaren hier, nu zelf een bijdrage te mogen leveren aan de opleiding van weer een nieuwe generatie studenten.

Een bijzonder woord van dank wil ik richten tot Witteveen+Bos. Zij stellen mij in staat om de benoeming aan de Technische Universiteit Eindhoven te combineren met mijn functie binnen het bedrijf. In het bijzonder alle senior partners en directe collega's binnen de PMC Gebouwen.

Tijdens een feestelijk moment als dit, mag ook een oprecht dankjewel aan mijn directe familie en mijn beste vrienden niet ontbreken. Ik besef dat ik, met de vele tijd die ik aan mijn werk besteed, jullie vaak tekort doe. Toch kan ik altijd weer op jullie rekenen. Mijn dank daarvoor.



Figuur 10

Grijs beton bestaat niet

Zonder hiermee ook maar iemand tekort te willen doen zijn er enkele personen tot wie ik een persoonlijk woord wil richten:

### **Hooggeleerde Scherpbier, beste Gerd**

Dank voor de prettige samenwerking tijdens mijn promotie. Nog meer dank dat je mij daarbij, op geheel eigen wijze, op het pad van betonconstructies hebt gezet. Het voelt heel bijzonder nu hier op deze plek te staan. We delen al jaren onze verbondenheid met Witteveen+Bos en nu mag ik ook als hoogleraar in je voetsporen treden.

### **Hooggeleerde Kleinman, beste Cees**

Het is een bijzonder genoegen om jouw opvolger op deze leerstoel te mogen zijn. Ik heb je leren kennen als een bijzonder vakman, met een ongeëvenaarde passie voor constructies en het materiaal beton.

### **Hooggeleerde Hordijk, beste Dick**

We kennen elkaar inmiddels al vele jaren. Het afgelopen jaar heb ik echter voor het eerst het genoegen gehad met je samen te mogen werken, en wel aan deze universiteit. Ik ben je dankbaar voor je hulp bij mijn start hier en voor de vele open gesprekken over ons mooie vak.

### **Weledelzeergeleerde Roelfstra, beste Peter**

De wijze waarop wij elkaar hebben leren kennen, berust op toeval. Een woord van dank aan Jan Bijen is hierbij zeker op zijn plaats. De wijze waarop ik de eerste jaren van mijn loopbaan met je heb mogen samenwerken, is volstrekt uniek. Ik besef dit nog elke dag. Jij hebt me opgeleid in dit vak. Je was altijd bereid jouw grote kennis en kunde met mij te delen en mij onvoorwaardelijk te helpen waar nodig.

Lieve Sonja, Heleen en Lisa. De laatste woorden zijn voor jullie. Mijn werk is een onlosmakelijk onderdeel geworden van ons leven als gezin. We vinden het gewoon. Het is echter niet gewoon. Heel veel dank voor jullie steun.

Ik heb gezegd.

# Referenties

1. Taleb, N.N., Misleid door toeval, 2009.
2. Betoniek, 100 jaar regelgeving, december 2012.
3. Gijsbers, J., 100 jaar betonvoorschriften. Cement 2012 nr. 8, pp. 68-77.
4. Hordijk, D.A., Nieuwe betontoepassingen, van proef naar praktijk om omgekeerd? Intreerede TU/e, 14 juni 2002.
5. Loeff, K., Fabrieksgebouwen, categoriaal onderzoek wederopbouw 1940-1965. 2006.
6. Graaf, J., prof.ir. G.S. Bos, een leven vol techniek, 2006.
7. Nethercot, D.A., Modern codes of practice: What is their effect, their value and their cost? Structural Engineering International 2012 nr. 2, pp. 176-181.
8. Johnson, S. and K. Blanchard, Wie heeft mijn kaas gepikt? 2007.
9. De Ridder, H., LEGOlisering van de bouw. 2011.
10. Turner, Overtuiging en lef, noodzaak voor de echte doorbraak in keten-integratie. 2012.
11. Haas, M., Hoe duurzaam is beton? Cement 2009 nr. 3, pp. 4-9.
12. Stufib rapport 21 en Stutech rapport 29, Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton-toegespitst op CO<sub>2</sub>. November 2012.
13. Haas, A.M., Geschiedenis en toekomst van het gewapend beton. Cement 1967 nr. 12, pp. 438-448.
14. Belytschko, T., and T. Black, Elastic crack growth in finite elements with minimal remeshing, International Journal for Numerical Methods in Engineering Volume 45 Issue 5 1999, pp. 601-620.
15. Stenvert, R., Bouwhistorie: Gewapend beton, deel 1. Vitruvius 2010 nr. 10.

# Curriculum Vitae

**Prof.dr.ir. Theo Salet is per 1 januari 2012 benoemd tot deeltijd hoogleraar Structural Design-Concrete Structures aan de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven.**

Theo Salet (1962) studeerde in 1986 af aan de faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven. Hier promoveerde hij in 1990 op het constructief gedrag van schuimbeton in sandwichconstructies.

Na zijn promotie startte hij zijn loopbaan bij Intron, waar hij als onderzoeker actief was binnen de dochteronderneming Structural and Material Engineering. Tijdens zijn internationale carrière richtte hij zich op numerieke simulaties van verhardend beton en werkte aan diverse bruggen en tunnels.

Sinds 1998 is hij in dienst van Witteveen+Bos. Als project-leider, senior constructeur en contractmanager was hij verantwoordelijk voor het ontwerp en het management van grote infrastructurele projecten en gebouwen. Op dit moment is hij senior partner en geeft leiding aan de product markt combinatie Gebouwen.

## Colofon

### Productie

Communicatie Expertise  
Centrum TU/e

### Fotografie cover

Rob Stork, Eindhoven

### Ontwerp

Grefo Prepress,  
Sint-Oedenrode

### Druk

Drukkerij Snep, Eindhoven

ISBN 978-90-386-3368-8  
NUR 955

Digitale versie:  
[www.tue.nl/bib/](http://www.tue.nl/bib/)

**Bezoekadres**

Den Dolech 2  
5612 AZ Eindhoven

**Postadres**

Postbus 513  
5600 MB Eindhoven

Tel. (040) 247 91 11  
[www.tue.nl](http://www.tue.nl)



Technische Universiteit  
**Eindhoven**  
University of Technology