

# ERFGOED BRUSSEL

April 2019 | Nr030

Dossier **BETON**

Varia DE BRUSSELSE REUZEN

DOSSIER

# BOUWWERKEN VAN BETON IN ACHT CHRONOLOGISCHE TYPOLOGIEËN

## KLEINE GESCHIEDENIS VAN DE BETONTECHNIEK

**MICHEL PROVOST**

BURGERLIJK BOUWKUNDIG INGENIEUR,  
HOGLERAAR ULB, *JOINT RESEARCH GROUP*  
ULB-VUB '*CONSTRUCTION HISTORIES BRUSSELS*',  
VENNOOT *ORIGIN ARCHITECTURE & ENGINEERING*

*Beton is overal aanwezig in het architecturale landschap van onze steden, soms op nadrukkelijke en zichtbare wijze, soms ook minder herkenbaar of onzichtbaar voor het oog van de leek. Dit eeuwenoude materiaal, dat tot op vandaag nog altijd verbeterd wordt, maakt het mogelijk structuren te realiseren die tal van toepassingsdomeinen kennen. Bij wijze van inleiding tot het dossier van dit nummer volgt hier een technisch-didactisch artikel over de geschiedenis van het beton, met aansluitend een glossarium.*

Beton, een mengsel van granulaat (riviergrind of vormalen steen) en mortel (bindmiddel, zand en water), is een 'kunststeen'. Beton is al een zeer oud materiaal. Het eerste belangrijke bouwwerk dat altijd genoemd wordt als het over de geschiedenis van het beton gaat, is het Pantheon van Agrippa in Rome, voltooid in 123 n.C. onder het bewind van keizer Hadrianus. Het gebouw is bekrond met een 'betonnen' koepel met een diameter van 43 meter. Het bindmiddel in dit 'beton' is geen kunstmatig cement zoals wij dat vandaag kennen, maar kalk. De moderne geschiedenis van het beton begint pas in het midden van de 19de eeuw, met de uitvinding en de industriële productie van kunstmatig cement.

Ongeacht of het met een natuurlijk of een kunstmatig bindmiddel vervaardigd is, gedraagt beton zich als een steen van middelmatige tot goede kwaliteit: het is goed bestand tegen druk maar niet tegen trekkrachten. Het is dus geschikt voor de realisatie van onderdelen die niet aan trekkracht worden blootgesteld of die alleen drukbestendig moeten zijn, zoals bogen, gewelven en massieve verticale elementen als kolommen en muren. Ter compensatie van de zwakke weerstand tegen trekkrachten wordt het beton

verstevigd met bewapeningen. Het eerste gewapend beton dateert van het einde van de 19de eeuw.

De geschiedenis van het moderne beton wordt gekenmerkt door een opeenvolging van bouwtypologieën die stapsgewijs hun intrede deden, naarmate men beter begreep hoe betonstructuren werken en men dit materiaal en het gebruik ervan beter leerde beheersen. Deze typologieën houden zowel met structurele als technologische aspecten verband. We kunnen de volgende acht typologieën onderscheiden, gerangschikt in chronologische volgorde naargelang de periode waarin ze tot stand kwamen :

1. Rocailles en beeldhouwwerken (midden 19de eeuw tot aan de Eerste Wereldoorlog)
2. Balken en kolommen uit de beginperiode van het gewapend beton (vanaf de jaren 1890)
3. Grote bogen voor gebouwen in gewapend beton (omstreeks 1910 tot de jaren 1930)
4. Dunne wanden in gewapend beton (vanaf de jaren 1920 tot het begin van de jaren 1970)
5. Structuren in voorgespannen beton (vanaf de Tweede Wereldoorlog)
6. Geprefabriceerd beton (stapsgewijs vanaf het einde van de Tweede Wereldoorlog)

7. Architectonisch beton (sterk ontwikkeld in de jaren 1960 - 1970)
8. Zichtbaar beton van de 'nieuwe generatie' (vanaf het begin van de 21ste eeuw)

Hierna volgt een beknopte beschrijving van deze typologieën, samen met enkele elementen die hun opkomst verklaren. Ze zijn vaak geleidelijk ontstaan en nooit volledig verdwenen. De vermelde periodes stemmen overeen met de jaren waarin ze het meest representatief waren.

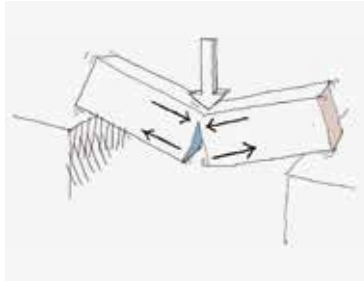
## ROCAILLES EN BEELDHOUWERKEN

De opkomst van het kunstmatig cement in de 19de eeuw verruimde het artistieke toepassingsgebied van de rocaillotechniek, die al honderden jaren bestond. Voortaan kon men beelden, artificiële grotten, balustrades in houtimitatie en andere namaakrotsen van ongekende afmetingen maken. Sommige van deze decoratieve elementen zijn nog altijd aanwezig in tal van parken en tuinen van Brussel. Het beton werd in dit geval gebruikt als kunststeen. De samenstelling ervan lijkt goed op die van mortel en soms wordt het 'gewapend cement'

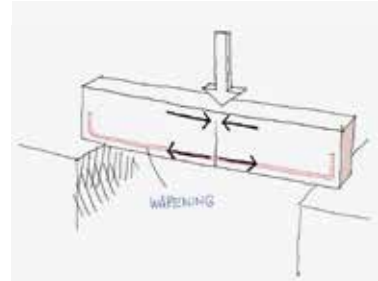
genoemd. In rocailles worden wapeningen echter voornamelijk gebruikt om de structuur een vorm te geven, zoals een skelet in metalen bewapeningen, en niet om trekkrachten op te vangen zoals in gewapend beton.

## BALKEN EN KOLOMMEN UIT DE BEGINPERIODE VAN HET GEWAPEND BETON

Betonnen balken worden vervaardigd door het beton met wapeningen te verstevigen. Het is immers niet mogelijk om balken te vervaardigen in niet-gewapend beton. Een balk die van boven onder neerwaartse druk staat buigt door en is onderhevig aan inwendige trekkrachten. Als het materiaal waaruit hij vervaardigd is niet aan deze trekkrachten kan weerstaan, zal de balk breken (afb. 1).



Afb. 1 (© D. Delpire, 2018)



Afb. 2 (© D. Delpire, 2018)

Om balken te maken is er dus **gewapend beton** nodig. Stalen wapeningen geplaatst in de zones die bij belasting aan trekkrachten worden blootgesteld, zullen de zwakke trekweerstand van het beton compenseren (afb. 2).

De eerste experimenten en toepassingen met gewapend beton zijn op verschillende plaatsen tege-

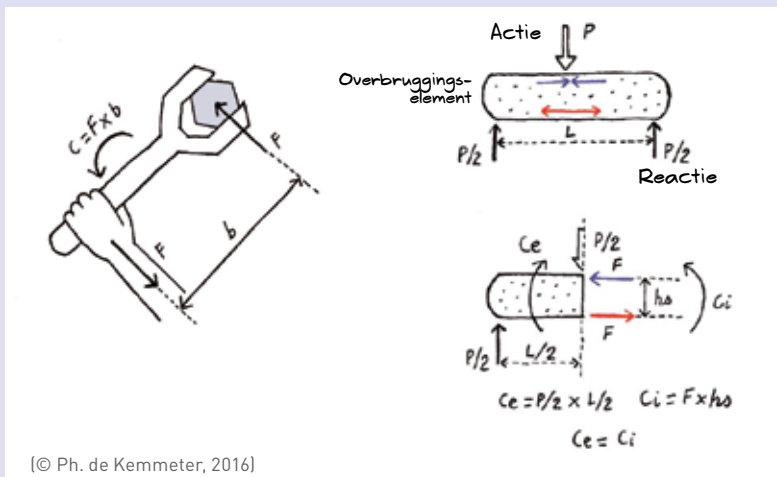
lijk ontstaan. Het is dus moeilijk één bepaalde persoon als uitvinder aan te wijzen of de plaats te bepalen waar gewapend beton voor het eerst werd gebruikt. Tussen 1850 en 1914 zijn er immers talrijke commerciële, beschermde en gepatenteerde systemen voor gewapend beton ontwikkeld. De belangrijkste pionier in België was ontegensprekelijk de Franse ingenieur François

## WAT IS EEN MOMENT?

Een moment wordt veroorzaakt door twee gelijke en tegengestelde parallelle krachten.

Moment  $C$  is gelijk aan het product van de intensiteit van de krachten  $F$  door de arm van hefboom afstand tussen de twee krachten.

$$C = F \times b$$



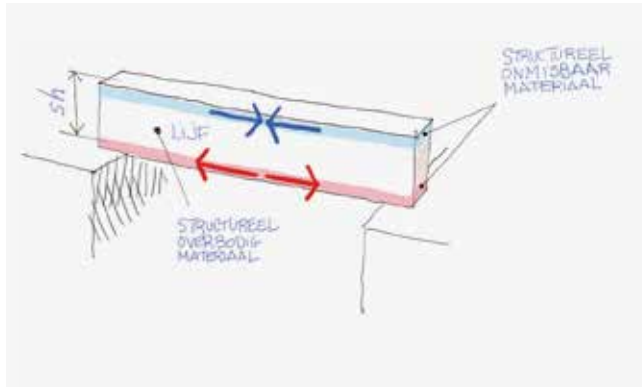
(© Ph. de Kemmeter, 2016)

## HOE 'WERKT' EEN BALK?

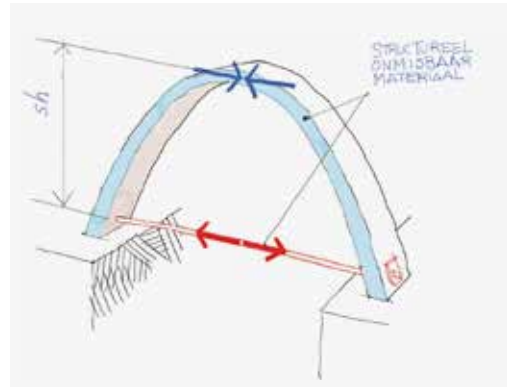
Het verschil tussen de actie op de balk en de reacties op de steunpunten veroorzaakt een 'extern' moment: ' $C_e$ '. Dit moment wordt in evenwicht gebracht door een 'intern' koppel op de balk: ' $C_i$ '.  $C_i = C_e$ .

Het interne moment is het product van kracht  $F$ , die wordt opgevangen door het materiaal, respectievelijk in druk en in tractie, vermenigvuldigd met de structurele hoogte  $h_s$ .

Voor een gedefinieerd moment, en dus voor een actie  $P$  op de gegeven balk, maakt de verhoging van de structurele hoogte  $h_s$  het mogelijk kracht  $F$ , en daardoor ook het materiaal dat nodig is om de kracht op te vangen, te verminderen. Hoe groter dus de structurele hoogte, hoe verder het materiaal verwijderd is van de as van de balk en hoe efficiënter het wordt gebruikt.



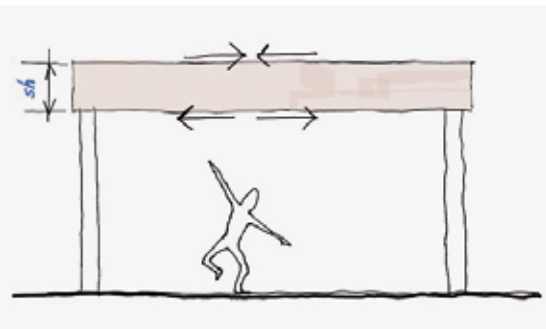
Afb. 3 (© D. Delpire, 2018)



Afb. 4 (© D. Delpire, 2018)



Afb. 5 (© D. Delpire, 2018)



Hennebique. Zijn eerste bouwwerken in gewapend beton worden vaak vermeld als 'gewapend beton systeem Hennebique'. Dat systeem werd in de jaren 1890 op punt gesteld en de volgende 20 jaar verder verbeterd. Het commerciële succes van Hennebique was te danken aan een combinatie van factoren: een efficiënt systeem op structureel vlak, een betrouwbare en zorgvuldige uitvoeringskwaliteit van het ter plaatse gegoten beton en een doorgedreven marketing waarbij veel aandacht besteed werd aan promotie en reclame. Het systeem Hennebique omvatte een product-assortiment van platen, balken en kolommen.

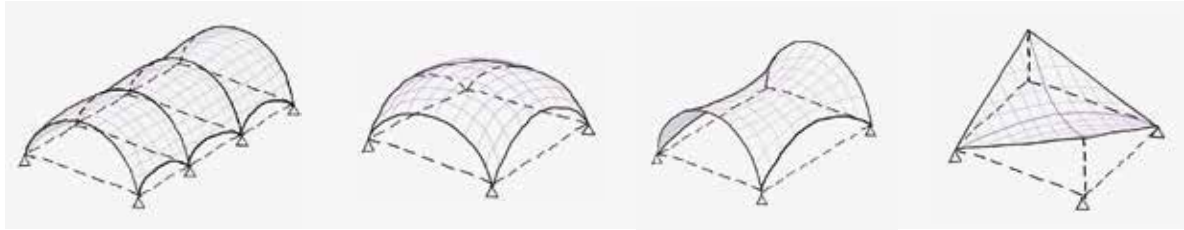
Het succes van de structuren in gewapend beton had vooral te maken met hun betere weerstand tegen brand dan metalen en uiteraard houten structuren. Balken in gewapend beton zijn redelijk een-

voudige en efficiënte structurele elementen, maar ze worden te zwaar wanneer hun spanwijdte toeneemt. Om dat te begrijpen moeten we kijken naar hun structurele werking. Als de spanwijdte van de balk toeneemt, vergroot het interne moment en zal de hoogte van de balk moeten worden vergroot. Zijn gewicht neemt dan sterk toe door de toevoeging van nutteloze materie, terwijl de structureel onmisbare materie zich beperkt tot die van de bovenste en onderste vezels (afb. 3). De voornaamste drijfkracht achter de ontwikkeling van structurele typologieën is de vermindering van deze overbodige materie, die een nutteloze last vormt. Men zou, zoals bij een metalen skelet, het materiaal van de kern kunnen verminderen door opengewerkte balken te vervaardigen, maar dat is technologisch moeilijk en vergt heel wat arbeidskracht.

## GROTE BOGEN VOOR BOUWERKEN IN GEWAPEND BETON

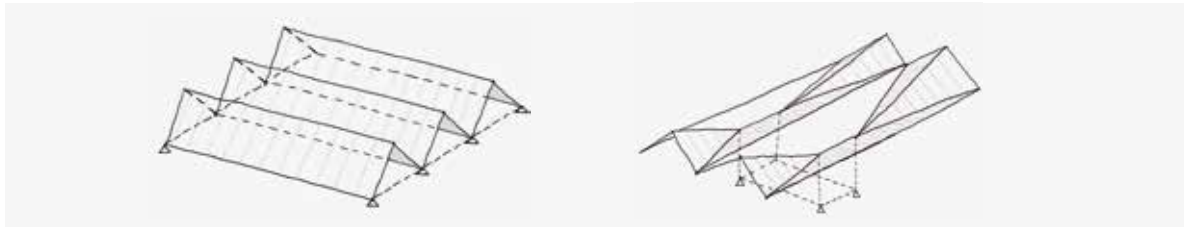
Boogstructuren vormen een oplossing om de hoeveelheid materiaal en het gewicht te reduceren in structuren met een grote spanwijdte. Men beperkt zich hierbij immers tot de strikt noodzakelijke hoeveelheid structureel materiaal (afb. 4). De vermeerdering van de structurele hoogte, de interne hefboomarm ( $sh$ ), vergroot de weerstand van de structuur. Bij een gelijke spanwijdte en belasting zorgt een toename van de hoogte van de boog voor een vermindering van de hoeveelheid materiaal die nodig is om de stevigheid van de boog te waarborgen. De bouwers van de gotische kathedralen hadden dit al goed begrepen.

Bij een overkapping met balken bevindt men zich onder een structuur.



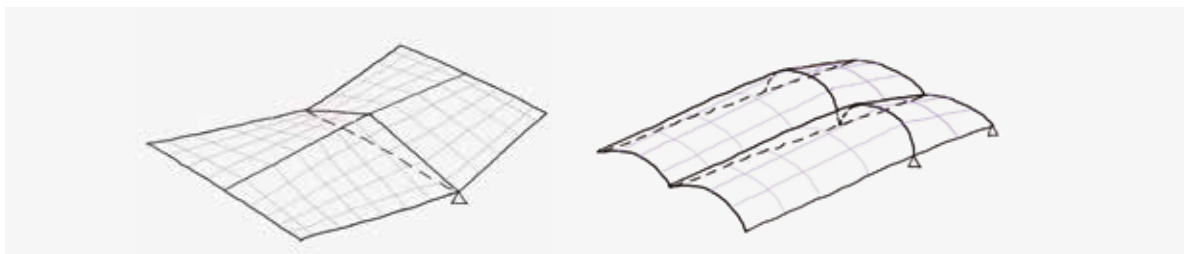
**Afb. 6a tot 6d**

a) Tongewelf ; b) Koepel ; c en d) Hyperbolische paraboloiden (© D. Delpire, 2018).



**Afb. 7a en 7b**

Betonwanden met vlakke plooiing (© D. Delpire, 2018).



**Afb. 7c en 7d**

c) Betonwanden met "gelijkaardige plooiing"; d) Betonwanden met "gebogen plooiing" (© D. Delpire, 2018).

Bij een boog bevindt men zich daarentegen onder de sluitsteen, daar waar de drukkrachten een evenwicht bereiken; eens boven de lijn van de drukkrachten van de voet van de boog bevindt men zich dus in de structuur zelf (afb. 5). Dat verklaart waarom, met eenzelfde materiaal en met gelijke spanwijdte en belasting, de dikte van een boog kleiner is dan de hoogte van een balk. De boogstructuur levert beduidend betere prestaties omdat zijn structurele hoogte veel groter is.

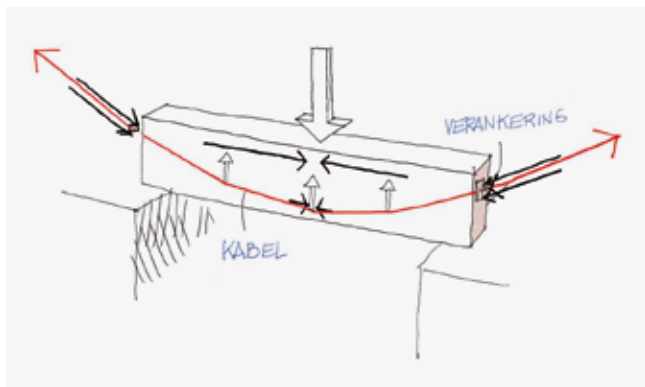
Bogen in beton, eerst niet, vervolgens wel gewapend, werden aanvankelijk gebruikt voor bruggen waar ze afgeleid werden van bogen in metselwerk, alvorens ze – in rela-

tief beperkte mate – in gebouwen te worden toegepast.

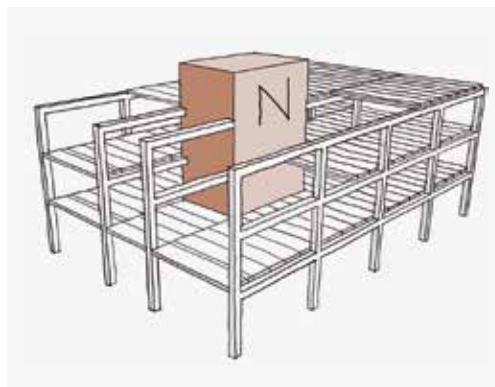
.....  
**DUNNE WANDEN  
 OF SCHALEN IN  
 GEWAPEND BETON**

Een andere piste om een lichtere constructie te realiseren is het gebruik van dunwandige structuren om ruimten af te sluiten. Een dunne wand of schaal in gewapend beton is een structuur waarbij een van de afmetingen, meer bepaald de dikte, beduidend kleiner is dan de twee andere. Die dikte bedraagt een tiental centimeter of zelfs minder. De weerstand en de stijfheid van deze structuren wor-

den bepaald door hun vorm. Er zijn twee hoofdtypen betonschalen: gebogen wanden zoals gedrukte gewelven, koepels en hyperbole paraboloiden, die voornamelijk als boog worden gebruikt (afb. 6a tot 6d), en geplooid of gelijkaardige wanden die eerder als balk worden gebruikt, waarbij de balk verkregen wordt door een vlakke of golvende plooiing van de wand (afb. 7a tot 7d). Dunne wanden in gewapend beton zijn ruimtelijk en architecturaal interessant maar ze vereisen ingewikkelde bekistingen die zeer arbeidsintensief zijn. De geleidelijke kostenstijging van deze wanden heeft ertoe geleid dat dit type structuren in de jaren 1970 haast volledig verdwenen is.



Afb. 8 (© D. Delpire, 2018)



Afb. 9 (© D. Delpire, 2018)

## STRUCTUREN IN VOORGESPANNEN BETON

Een derde optie voor minder gewicht is voorgespanssen beton. Bij balken omhelst dit het principe om ze vooraf te belasten en drukspanning te veroorzaken in de zones die later, tijdens de belasting, aan trekkrachten worden blootgesteld. Wanneer er voldoende drukspanning aanwezig is, wordt de trekkracht op het beton geëlimineerd en is de weerstand van de balk gegarandeerd. Er worden twee voorspanningstechnieken gebruikt die van elkaar verschillen door het moment waarop de kabel<sup>1</sup> die de balk zal voorbelasten onder spanning wordt gezet:

- Voorspanning door *pre-tensioning*: hierbij wordt de balk gebetonneerd rondom een bewapening<sup>1</sup> (draden of kabels) die voorgespanssen wordt tussen verankeringsmassieven die onafhankelijk zijn van de te construeren balk. Wanneer het uitgeharde beton voldoende weerstand heeft bereikt, laat men de verankeringskrachten van deze gespannen bewapening weer los. Hierdoor worden de initiële spanningskrachten van de bewapening overgedragen op het beton, waardoor drukspanning ontstaat.
- Voorspanning door *post-tensioning*: hierbij wordt vóór de betonning een koker in de bekisting geplaatst. De kabel in deze koker wordt na de uitharding van het beton onder spanning geplaatst door vasthechting aan de balk. De gespannen kabel wordt verankerd aan de uiteinden van de balk. De initiële spankrachten van de kabel worden hierdoor overgedragen op het beton, waardoor drukspanning ontstaat.

Bij voorspanning door *post-tensioning* volgt de kabel doorgaans een naar boven gericht concaaf tracé. Bij het onder spanning zetten heeft de kabel de neiging om een horizontaal tracé aan te nemen, die een opwaartse druk op de balk uitoefent en zo een deel van de belasting compenseert waaraan hij wordt blootgesteld (afb. 8).

Voorspanning heeft dus een dubbel effect: aan de ene kant de vermindering van de krachten op de balk en anderzijds het belasten van de zones die bij het onder spanning zetten aan trekkrachten zouden worden blootgesteld. Balken in voorgespanssen beton zijn dus performanter dan balken in gewapend beton. Voorspanning wordt vandaag in vele bouwwerken gebruikt, zowel voor kunstwerken als voor gebouwen. Gewapend beton en voorge-

spannen beton zijn niet tegengesteld aan elkaar. Alle betonstructuren bestaan uit gewapend beton maar slechts sommige daarvan worden voorbelast en vormen structuren in voorgespanssen beton. Deze techniek, die vlak voor de Tweede Wereldoorlog zijn intrede deed in de bouwsector, is sindsdien onophoudelijk geëvolueerd.

Bij het nadenken over de structurele werking, was de leidende gedachte bij de drie laatstgenoemde structurele typologieën de vermindering van de hoeveelheid beton en dus ook van het 'dood' gewicht. De nu volgende typologieën zijn eerder technologisch en architecturaal van aard.

## GEPREFABRICEEED BETON

Hoewel gebruikt sinds de opkomst van het gewapend beton, heeft het geprefabriceerd beton zich hoofdzakelijk ontwikkeld tijdens de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog. Aanvankelijk betrof het slechts een deel van de bouwwerken, maar deze praktijk werd geleidelijk aan vrijwel alomtegenwoordig. Prefabricage biedt talrijke voordelen. De productie is niet alleen goedkoper en sneller, maar de kwaliteit van het beton is ook beter aangezien het grootste deel van het werk in de fabriek gebeurt, beschermt tegen alle weersinvloeden.

In de jaren 1960 verschijnen gebouwen waarvan alleen de gewapende betonwanden van de centrale kern – die de verticale circulaties omvat en het centrale steunpunt van het gebouw vormt – op de werf wordt gerealiseerd. De rest van de structuur, vloerelementen (welfsels), balken en kolommen, zijn prefabelelementen die in de fabriek worden vervaardigd en op de werf geassembleerd (afb. 9). Welfsels worden quasi altijd uitgevoerd in door *pre-tensioning* voorgespannen beton. Dat geldt ook voor de balken waaruit de meeste bruggen met een middelgrote spanwijdte doorgaans opgebouwd zijn.

## ARCHITECTONISCH BETON

Het kwaliteitsniveau dat door prefabricage kan bereikt worden, leidde tot de realisatie van gevelelementen met een fraaie architecturale vormgeving. Dit betekende de opkomst van het architectonisch beton. Deze gevelelementen kunnen in sommige gevallen dragende elementen zijn die deel uitmaken van de structuur. In andere gevallen vormen ze alleen een geveldecor. De prefabricage in de fabriek maakt het mogelijk om beton met verschillende oppervlakken te vervaardigen: glad, gehamerd, gepolijst, enzovoort. Tot de meest markante voorbeelden behoren de zetel van de Bank van Brussel (de latere BBL en vandaag ING) (1959-1965) en deze van de firma CBR (1967-1970), beide gelegen in het Brussels Gewest. Dit type beton, dat een sterke opgang kende in de jaren 1960-1970, is niet geheel verdwenen. Vandaag maakt het deel uit van architecturale oplossingen die architectuur en structuur met elkaar verzoenen.

## ZICHTBAAR BETON 'VAN DE NIEUWE GENERATIE'

De relatie tussen beton en architectuur was niet altijd vanzelfsprekend. Vanaf de jaren 1920 ontwikkelde zich een architectuur van zichtbaar beton, onder andere door het gebruik van bekistingen met latten. Le Corbusier heeft veelvuldig gebruikgemaakt van de architecturale kwaliteiten van dit materiaal. Het 'brute' uitzicht en de gebreken bezorgden het echter een slechte naam bij het grote publiek. De term 'beton' kreeg in de loop der jaren een pejoratieve klank. Het architectonisch beton was een eerste stap naar eerherstel. Maar het toepassingsgebied voor dit type beton is vrij beperkt. Het gaat vooral om kantoorgebouwen met een systematische architectuur die zeer representatief is voor een bepaald tijdvak. Sindsdien heeft de betonsector veel werk gemaakt van de kwaliteit van het materiaal om te komen tot een hoogstaande uitvoering en een meer verzorgde afwerking. Vanaf het begin van de 21ste eeuw zijn steeds meer architecten dit materiaal gaan gebruiken om het (opnieuw) de plaats te geven die het verdient. Vandaag is zichtbaar beton een van de vele materialen die ter beschikking staan van de architecten.

*Vertaald uit het Frans.*

## BIBLIOGRAFIE :

DENOËL, J.-F., ESPION, B., HELLEBOIS, A. en PROVOST, M., *Histoires de béton armé – Patrimoine, durabilité et innovations*, Ouvrage collectif Felbecem – FABI, Brussel, 2013.

## NOOT

1. Vandaag spreekt men eerder van voorgespannen wapening.

## TECHNISCH GLOSSARIUM

### Architectonisch beton:

Beton gegoten tot geprefabriceerde stukken in de vorm van afgewerkte modulaire gevelelementen. Deze elementen, die in hun geheel op de werf worden geleverd, hoeven alleen nog te worden geplaatst. Hoewel doorgaans vervaardigd uit gewapend beton, zijn sommige stukken ook voorgespannen.

### Bekisting:

De tijdelijke mal waarin het beton wordt gegoten voor het vervaardigen van een element en die na de opstijving en uitharding van het beton verwijderd wordt. Doorgaans van hout of metaal en versterkt door steunen, stutten of verstijvers om de door het beton uitgeoefende druk op te vangen.

### Betonkrimp:

Geleidelijke vermindering van het volume van een element. Een betonnen balk van een tiental meter lang zal bijvoorbeeld enkele millimeter korter worden. De door krimp veroorzaakte spanningen kunnen leiden tot het barsten van elementen in gewapend beton wanneer de krimp niet onbelemmerd kan gebeuren.

### Beton met hoge, zeer hoge of ultrahoge weerstand (BHW, BZH, BUHW):

Moderne betonsoorten waarvan de drukweerstand groter is dan die van gewoon beton en waarvan de eigenschappen in verse toestand sterk verbeterd zijn. Men spreekt soms ook van 'hoge performantie' wanneer andere eigenschappen dan hoge weerstand worden beoogd.

### Betonwand:

Meestal verticale muur in gewapend beton.

### Cement:

Cement is een hydraulisch bindmiddel, d.w.z. een fijn gemalen, anorganisch materiaal dat, vermengd met water, een pasta vormt die uithardt als gevolg van hydrateringsreacties en na uitharding zelfs onder water zijn weerstand en stabiliteit behoudt.

### Cementmelk:

Mengsel van cement en toeslagstoffen, gebruikt om barsten te injecteren en kabelgoten of voorspanningsstaven te vullen.

### Centerpengaten:

Gaten in de bekistingspanelen van wanden in gewapend beton, voor de plaatsing van tijdelijke pennen die de



druk van het vers gestorte beton op beide zijden van de bekisting moeten opvangen. De sporen van de centerpen-gaten zijn na ontkisting zichtbaar op beide zijden van de wanden.

**Gebouchardeerd of gehamerd beton:**

Beton waarvan het oppervlak gehamerd is om een ruw uitzicht te krijgen (gelijkend op natuurlijke rots).

**Geprefabriceerd element:**

Element in gewapend of voorgespannen beton, gerealiseerd in de fabriek of op de werf en bestemd om achteraf in het bouwwerk te worden geïntegreerd.

**Granulaat:**

Geheel van de natuurlijke en kunstmatige inerte materialen die het betonskelet vormen en die samengehouden worden door het cement.

**Kruip (van beton):**

Geleidelijke toename van de vervorming van een materiaal onder een constant uitgeoefende belasting.

**Mortel / cementmortel:**

Mortel is een mengsel van bindmiddel (cement), fijn granulaat (zand) en water.

**Nabehandeling van beton:**

Onder nabehandeling van beton verstaat men voornamelijk de bescherming ervan tegen vroegtijdige uitdroging.

**Ontkisting:**

De ontkisting omvat het verwijderen van de wanden van de bekisting; dit kan enkele uren na de binding van het beton gebeuren. Het ontgaste betonnen element moet worden ondersteund tot het beton voldoende weerstand heeft gekregen.

**Ontstutten :**

Het ontstutten houdt het verwijderen in van de elementen die het betonnen element tijdelijk ondersteunen tijdens de uitharding van het beton. Het ontstutten mag slechts gebeuren nadat het beton voldoende weerstand heeft gekregen.

**Ribbenvloer of ribcassettevloer:**

Vloerplaat uit gewapend of voorgespannen beton die is opgebouwd uit kleine, relatief dicht tegen elkaar geplaatste balken (ongeveer 30 tot 80 cm van elkaar verwijderd) die een vloerplaat van enkele centimeter dik dragen. Vandaag worden ribbenvloeren doorgaans geprefabriceerd als een monolithisch bouwonderdeel

(liggers en vloerplaat) opgebouwd uit dubbele ribben. Men spreekt dan van holle welfsels.

**Stutboog:**

Tijdelijke constructie met dezelfde ronding als de binnenkant van een boog of een gewelf, om deze te ondersteunen tijdens de bouw of herstelling ervan. Bij uitbreiding wordt deze term ook gebruikt voor de bekistingssteunen, met name voor het brugdek van bruggen.

**Toeslagstof:**

Elk product toegevoegd tijdens de menging van het beton (in kleine dosis) om de eigenschappen van het mengsel in verse of uitgeharde staat te wijzigen.

**Trillen van beton:**

Zie Verdichting.

**Verdichten van beton:**

Vers gegoten beton bevat een aanzienlijke hoeveelheid ingesloten lucht, die verminderd moet worden om het beton voldoende drukweerstand te geven. De verdichting is de handeling om het verse beton te ontluften. Dit kan gebeuren door trillingen, door schokken, enz.

**Vlechtwerk in staal:**

Geheel van de stalen wapeningen van een element of structuur in gewapend beton.

**Wapening:**

Benaming voor elk element dat ingewerkt wordt in een materiaal om de trekweerstand ervan te verbeteren. Wapening voor gewapend beton: betonijzers of stalen stangen en staven ingewerkt in het beton om de trekweerstand te creëren. Wapeningskooi: netwerk van wapeningen die men in een balk, een kolom, een vloerplaat of een fundering (pijler, funderingszool) plaatst. Beugel: transversaal wapeningselement van een balk in gewapend beton dat doorgaans rechthoekig van vorm is en in staat is de dwarskracht op te nemen.

**Wapeningsnet:**

Vlak of (achteraf) geplooid netwerk met rechthoekige of vierkante mazen, bestaande uit wapeningen met in elke richting eenzelfde diameter die aan elkaar worden gelast.

**Welfsel:**

Geprefabriceerd langwerpige element in gewapend of voorgespannen beton dat dient als vloer- of overkappings-element. Een welfsel kan een spanwijdte hebben van meer dan 15 meter.

.....  
**A history of concrete structures in eight examples**  
**A short history of concrete technology**  
.....

Concrete – a mixture of aggregate, binder and water – is an ‘artificial stone’. It is a very old material, already in use as far back as antiquity. The binder was originally natural, but in the early 19th century this began to be replaced by cement. It was with the invention and industrial production of cement that the ‘modern’ history of concrete, which is being discussed here, began.

Concrete behaves like a stone of medium to good quality, with good compressive but poor tensile strength. To compensate for this, reinforcing bars are incorporated in the material. The history of reinforced concrete began in the latter part of the 19th century. Towards the mid-20th century, prestressed concrete appeared; this involves introducing predetermined stresses into structures to counteract tensile stresses.

The history of modern concrete is marked by the progressive appearance of different types of structures, developing as a result of successive gains in understanding of structural function and knowledge of the material and its potential uses.

This article provides a basic description of how reinforced and prestressed concrete works and examines different types of concrete with a particular focus on buildings.

---

## COLOFON

### REDACTIECOMITÉ

Jean-Marc Basyn, Françoise Cordier,  
Stéphane Demeter, Paula Dumont,  
Murielle Leseqque, Griet Meyfroots,  
Valérie Orban, Cecilia Paredes,  
Brigitte Vander Bruggen

### EINDREDACTIE NEDERLANDS

Griet Meyfroots

### EINDREDACTIE FRANS

Stéphane Demeter

### REDACTIESECRETARIAAT

Stéphane Demeter en Murielle Leseqque

### COÖRDINATIE DOSSIER

Jean-Marc Basyn

### COÖRDINATIE ICONOGRAFIE

Julie Coppens en Jean-Marc Basyn

### AUTEURS/ REDACTIONELE MEDEWERKING

Jean-Marc Basyn, Brigitte De Groof,  
Rika Devos, Bernard Espion,  
Jean-Paul Heerbrant, Isabelle Lecocq,  
Marc Meganck, Griet Meyfroots,  
Cecilia Paredes, Michel Provost, Benoît  
Schoonbroodt, Christian Spapens,  
Anne Totelin, Brigitte Vander Bruggen,  
Céline Vandewynckel, Aurélie Vermijlen

### VERTALING

Gitracom, Hilde Pauwels,  
Ubiqu Belgium NV/SA

### NALEZING

Cate Chapman – Skylark Academic &  
Book Editing, Koenraad Raeymaekers,  
Harry Lelièvre, Wim Kenis, Coralie  
Smets, Tom Verhofstadt en de  
leden van het redactiecomité

### VORMGEVING

Polygraph'

### ONTWERPER VAN DE MAQUETTE

The Crew communication nv

### DRUK

Graphius Brussels

### VERSPREIDING EN ABONNEMENTENBEHEER

Cindy De Brandt,  
Brigitte Vander Bruggen  
bpeb@urban.brussels

### BEDANKINGEN

Philippe Charlier, Alfred de Ville de  
Goyet, Bernard Espion, Armande  
Hellebois, Wim Kenis, Pierre-Yves Lamy,  
Michel Provost, Guido Stegen

### VERANTWOORDELIJKE UITGEVER

Bety Waknine, directeur-generaal,  
Urban.brussels (Gewestelijke  
Overheidsdienst Brussel  
Stedenbouw en Erfgoed)  
Kunstberg 10-13, Brussel

De artikelen zijn gepubliceerd  
onder de verantwoordelijkheid  
van de auteurs. Alle rechten voor  
het reproduceren, vertalen of  
herwerken zijn voorbehouden.

### CONTACT

Directie Cultureel Erfgoed  
Kunstberg 10-13, 1000 Brussel  
www.erfgoed.brussels  
bpeb@urban.brussels

### HERKOMST VAN DE FOTO'S

Mochten er ondanks onze inspanningen  
om alle reproductierechten te betalen  
toch nog gerechtigden zijn die niet  
gecontacteerd werden, dan worden  
zij verzocht zich kenbaar te maken bij  
de Directie Cultureel Erfgoed van het  
Brussels Hoofdstedelijk Gewest

### LIJST MET AFKORTINGEN

ARA – Algemeen Rijksarchief  
AUCL - Archives de l'université  
catholique de Louvain-la-Neuve  
CIDEP - Centre d'Information, de  
Documentation et d'Etude du Patrimoine  
GASJN – Gemeentearchieven  
Sint-Joost-ten-Node  
GASPW - Gemeentearchieven  
Sint-Pieters-Woluwe  
GOB - Gewestelijke  
Overheidsdienst Brussel  
KIK-IRPA – Koninklijk Instituut voor  
het Kunstpatrimonium / Institut  
royal du Patrimoine artistique  
KMSKB – Koninklijke Musea voor  
Schone Kunsten van België  
KUL - Katholieke Universiteit Leuven  
SAB – Stadsarchief Brussel  
ULB - Université libre de Bruxelles  
VUB - Vrije Universiteit Brussel

### ISSN

2034-5771

### WETTELIJK DEPOT

D/2019/6860/007

Cette revue paraît également  
en Français sous le titre  
*Bruxelles Patrimoines*.

## Erfgoed Brussel Reeds verschenen

001 - November 2011  
Terug naar school

002 - Juni 2012  
De Hallepoort

003-004 - September 2012  
De kunst van het bouwen

005 - December 2012  
Hôtel Dewez

Extra nummer 2013  
Het erfgoed schrijft onze geschiedenis

006-007 - September 2013  
Brussel, m'as-tu vu ?

008 - November 2013  
Industriële architectuur

009 - December 2013  
Parken en tuinen

010 - April 2014  
Jean-Baptiste Dewin

011-012- September 2014  
Geschiedenis en herinnering

013- December 2014  
Cultusgebouwen

014- April 2015  
Zoniënwood  
015-016 - September 2015  
Ateliers, fabrieken en kantoren

017 - December 2015  
Stadsarcheologie

018 - April 2016  
De Gemeentehuizen

019-020 - September 2016  
Stijlen gerecycleerd

021 - December 2016  
Victor Besme

022 - April 2017  
Art nouveau

023-024 - September 2017  
Natuur in de stad

025 - December 2017  
Conservatie op de steigers

026-027 - April 2018  
Kunstenarsateliers

## Laatste nummers



028 - September 2018  
Het Erfgoed, dat zijn wij!



Extra nummer - 2018  
De restauratie van  
een uitzonderlijk decor



029 - December 2018  
Historische Interieurs



urban  
.brussels

BUP BRUXELLES URBANISME ET PATRIMOINE  
BSE BRUSSEL STEDENBOUW EN ERFGOED

15 €



ISBN 978-2-87584-180-3