

# abt

## hybride gewapend beton

Al een aantal decennia wordt er staalvezelwapening toegepast. Hiermee zijn zowel successen geboekt als mislukkingen opgetreden. Om het materiaal beton veel efficiënter en beter te kunnen benutten is ABT verder gegaan met het ontwikkelen van zowel vezelbeton als met de ontwikkeling van traditioneel gewapend beton.

Na jaren van ontwerpen, onderzoeken en ervaren heeft ABT een manier gevonden om vezels succesvol te combineren met traditionele wapening. Er wordt handig gebruik gemaakt van zowel de goede eigenschappen van traditionele wapening als die van vezelwapening. Deze combinatie wordt door ABT hybride gewapend beton genoemd. ABT past hybride gewapend beton met name toe bij vloeren en wanden. Hierbij worden wapeningsnetten veelal gecombineerd met speciale staalvezels. Maar er zijn ook combinaties mogelijk met glas of polymeevezels of zelfs een mix van verschillende typen vezels.

### Voordelen hybride gewapend beton

Door de combinatie van vezels en traditionele wapening wordt er bouwtijd gewonnen. De hoge bouwsnelheid is te danken aan de vezels die het mogelijk maken om te construeren met lichtere wapeningsnetten en korven.

De lichtere wapening kan sneller en ergonomisch verantwoord worden aangebracht. Er dient wel rekening te worden gehouden met het aantal supportliggers om doorbuiging van de netten te voorkomen.

Door de toevoeging van vezels aan het beton wordt ervoor gezorgd dat er een verbetering van de taaiheid en slijtvastheid optreedt. De grootste oorzaak van slijtage in het beton is het loslaten van grind- en zandkorrels. Deze grind- en zandkorrels komen los te liggen, doordat het relatief zachte cement langzaam wegslijt. De vezels voorkomen dat grind en zandkorrels gemakkelijk uit het beton kunnen springen. Dit resulteert in een duurzame en slijtvaste betonconstructie.

Vezels beperken daarnaast de vermoeiing in het beton. Vermoeiing wordt veroorzaakt doordat scheuren en holtes instabiel worden. Deze holtes en scheuren gaan vervolgens groeien. Dit leidt uiteindelijk tot het bezwijken van of een ernstige schade aan constructies. Deze scheidingsgroeit wordt sterk beperkt door de vezels. Op microschaal worden spanningen overgedragen via de vezels. Doordat de spanningspieken langs scheuren en holtes worden verkleind is de doorgroei van deze scheuren beperkt.



# hybride gewapend beton

Naast alle functionele voordelen profiteert men van een beperking in de kosten. Door de eerder genoemde effecten is er bij een goed ontwerp minder beton en wapeningsstaal noodzakelijk. Ter indicatie: een vloeistofdichte vloer bevat met traditionele wapening al snel 110 kg/m<sup>3</sup>. Door deze hybride te wapenen kan dit snel worden teruggebracht naar 70 kg/m<sup>3</sup>. Deze hoeveelheden zijn inclusief de vezels en exclusief knipverlies. Dit is een vermindering van 36%. Bijkomend voordeel is de beperking in bouwtijd wat mogelijk ook een kostenreductie zou kunnen opleveren. Een ander voorbeeld is een keldervloer onder een hoogbouw in een garage waarbij een oorspronkelijke dikte van 1.000 mm kan worden gehalveerd.

Een vezelconstructie presteert bovendien veel beter op het gebied van brand- en explosieveiligheid.

## Beperkingen van hybride gewapend beton

Uiteraard zijn er beperkingen van hybride gewapende constructies ten opzichte van traditioneel gewapende constructies.

Het berekenen van een hybride gewapende betonconstructie vraagt om zeer specialistische berekeningen. Er is kennis nodig op het gebied van vezeltypen en hun gedrag. De ontwerper kan deze kennis alleen op de juiste manier toepassen wanneer er ook veel theoretische kennis van traditioneel gewapende constructies aanwezig is. Er moet hierbij verder worden gekeken dan de bestaande normeringen, waarbij veelal via simpele basisprincipes krachten en spanningen worden berekend. Deze kennis is bij ABT aanwezig.

Bij hybride gewapend beton dient de ontwerper te beschikken over enige betontechnologische kennis. In Nederland zijn de constructeurs, die vezelconstructies veilig en verantwoord kunnen uitrekenen, op één hand te tellen.

Daarnaast zijn hybride gewapende constructies nog niet breed geaccepteerd door gemeenten, betoncentrales en aannemers. Doordat er specialistisch wordt ontworpen, kunnen gemeenten niet eenvoudig controleren of deze voldoen aan de normeringen en wetgevingen. Bij betoncentrales ontbreekt soms de kennis en het materieel om vezels met beton te kunnen mengen. Verder zijn weinig aannemers bekend met staalvezels. Over het algemeen geldt in de bouw dat wanneer iets onbekend is, dit ook niet graag wordt toegepast.

Tevens is er speciale kennis van vezels benodigd. Vezels worden geleverd in diverse soorten, types en kwaliteiten. De ontwerper moet bekend zijn met vezeltype, betonsamenstelling en de bijbehorende prestaties van deze combinatie.

Er kan een enkele vezel zichtbaar zijn in het oppervlak van de constructie. De eindgebruiker van een constructie kan hier minder tevreden mee zijn. Bij staalvezels bestaat de mogelijkheid dat deze aan het oppervlak gaan roesten; dit is constructief geen probleem. Er zijn maatregelen te nemen tegen de zichtbaarheid aan het oppervlak. Bij monolitisch afgewerkte vloeren met een instrooilaag zijn veelal geen vezels zichtbaar aan het oppervlak. Een goede consistentie en een goede verdichting voorkomt dat vezels zichtbaar zijn aan het oppervlak van betonwanden.

## Verwerken van vezelbeton

Storten van vezelbeton gebeurt op dezelfde wijze als bij normaal beton. Vezelbeton is verpompaar of te storten door middel van een kubel. Bij een relatief lage vezeldosering met een betrekkelijk korte, dikke vezel kan er een gangbaar betonmengsel worden toegepast.

Probleemloze vezeldoseringen zijn doseringen in de orde van circa 0,45% van het volumieke aandeel. Het is zelfs mogelijk deze vezeldosering te combineren met het door ABT ontwikkelde krimparme vloerenbeton. Uiteraard kunnen vezels ook worden gecombineerd met zelfverdichtend beton, hoge sterkte- of ultra hoge sterkte beton. Sterker nog: het verdient aanbeveling vezels te doseren in ultra hoge sterkte beton om op deze wijze het bijzonder brosse gedrag van dit type beton te beperken.

Problemen met het betonmengsel kunnen worden verwacht bij grotere vezeldoseringen in combinatie met lange dunne vezels. Deze kunnen hierbij gaan samenklonteren.

Tot slot kan een mengsel dat niet aangepast is aan een relatief hoge vezeldosering slecht verwerkbaar worden, een te hoog luchtgehalte bevatten of zelfs ontmengen. Een goed doordacht betonmengsel zorgt ervoor dat deze problemen nauwelijks kunnen optreden. Om problemen te voorkomen dienen de aanrijtijden beperkt te blijven. En het is belangrijk dat de betonwagens snel worden gelost op de bouwplaats.



# hybride gewapend beton

## Momentcapaciteit

Een normale berekening van opneembare capaciteit begint met het vaststellen van de milieuklasse. De milieuklasse bepaalt vervolgens de benodigde dekking op de wapening. Bij staalvezelconstructies bestaat er geen dekking. De staalvezels zijn onderling niet met elkaar verbonden en zullen daardoor niet doorgaans corroderen. Glas en polymeer wapening worden doorgaans niet of nauwelijks aangetast door milieueffecten. Bij hybride gewapend beton dient er een milieuklasse te worden geformuleerd.

## Scheurwijdte en vervorming

Om scheurwijdten te beperken in normale constructies worden er veelal gebruik gemaakt van veel relatief dunne wapeningsstaven. Dit wordt gedaan vanwege de verankeringlengte die het staal heeft om de trekkrachten in het staal over te dragen naar het omliggende beton.

Bij staalvezels is de verankeringlengte ongeveer 1/100 van de verankeringlengte die nodig is om staven te verankeren. Dit komt door het relatief grote aanhectoppervlak vergeleken met het wapeningsoppervlak. Het nadeel van vezels is dat wanneer er relatief grote trekkracht optreedt in het beton, de vezels de krachten niet meer kunnen "houden". Bij een grote spanning slijt de vezel door het beton heen, de vezel knapt of er treedt een secundaire scheur op. Dit resulteert in de grote, wijde scheuren die optreden bij enkel gebruik van vezelwapening. Deze scheuren worden enkel aangetroffen door vezels gewapende vloeren die relatief zwaar belast worden door verhinderde vervormingen.

Bij hybride wapening wordt dit effect tegengegaan. Door staven bij het ontwerp toe te voegen wordt het slippen van de vezels sterk tegengegaan. Doordat de vezels nauwelijks slippen en het grootste gedeelte van de trekspanning opnemen, blijft de scheurwijdte beperkt.

Om te zorgen dat er een goede symbiose ontstaat tussen de vezels, wapeningsstaven en beton is veel theoretische achtergrondinformatie benodigd. Deze expertise heeft ABT in huis.

## Veiligheidsfactoren betrokken op de vezel

In de CUR 111 wordt voor vezelwapening een Y-factor aangehouden van 1,25 op het staalvezelbeton. Er zit in vezelbeton een zekere spreiding in de verdeling van de vezels in het volume van het beton. Bij vloeren, puntvormig- of elastisch ondersteund, wordt er relatief veel oppervlak gemobiliseerd bij de situatie dat een constructie tot over de elastische capaciteit wordt belast. Met andere woorden: er is veel herverdeling mogelijk.

Bij vloerconstructeurs is ook wel het karrenwiel en/of het envelopvormige patroon van vloeilijnen bekend. Hierbij wordt een groot gedeelte zowel belast met een negatief als positief moment. Vezels zitten overal; boven- en onderin de doorsnede. Een lokale afwijking van vezeldosering is geen probleem en zal leiden tot mobilisering in een ander deel van het vloeilijnenpatroon. Het gedrag van de plaat zal dus volgens het gemiddelde materiaalgedrag geschieden.

De mate van herverdeling is bij een casco of een portaalconstructie beperkter. Bij een balk op twee steunpunten is deze herverdeling niet aanwezig. Een plaatselijke afwijking in de vezeldosering leidt direct tot een significante afwijking van de draagkracht. Om toch dezelfde bezwijkingskansen te handhaven dient dus een hogere veiligheidsfactor op het materiaal te worden gebruikt. De Y-factor voor de druksterkte van het beton kan volgens de NEN 6720 of NEN-EN 1992 worden gehanteerd.

De kans op een "onder" gewapende doorsnede is groter naarmate een lage vezeldosering wordt toegepast. Verder



Betonstort van een hybride gewapende betonvloer

# hybride gewapend beton

is de grootte van de vezels van belang. Het aantal staalvezelvezels/kg is een goede maatstaf. Als vuistregel kan worden gesteld dat er een minimum van 30 kg/m<sup>3</sup> vezels met een maximale lengte van 60 mm dient te worden toegepast. Bij de constructies met minder herverdelingscapaciteit is het advies om de dosering vezels te verhogen naar 40 of 50 kg/m<sup>3</sup>. Bij glas en polymeerwapening ligt dit anders. Vanwege de lagere E-modulus van glas moet er een groter volume aandeel glasvezels worden gebruikt maar wel met een lagere massa per m<sup>3</sup> beton.

Het is bekend dat bij polymeervezels de koolstofvezels geschikt zijn als vezelwapening. Daarentegen worden polyester vezels soms als constructieve wapening verkocht. Polyestervezels zijn ongeschikt voor toepassing als constructieve wapening. Een vezel dient een E-modulus te hebben boven de 20.000 N/mm<sup>2</sup> om als geschikt vezelmatrix met enige constructieve invloed in beton te worden gebruikt.

## Kosten

Er zijn weinig bouwmaterialen die een lagere kostprijs hebben dan beton. Theoretisch zijn grond, puin en afval goedkopere bouwmaterialen. De mogelijkheden om met dit materiaal te construeren zijn beperkt. Hetzelfde geldt voor lage kwaliteiten mortel en betonsoorten.

Door de reeks van verbeteringen aan het materiaal beton is er steeds meer mogelijk met dit relatief goedkope materiaal. Beton kost anno 2010 ongeveer circa E 90,-/m<sup>3</sup> verwerkt. Door de additie van 30 kg/m<sup>3</sup> staalvezels neemt de kostprijs ongeveer toe met E 35,-/m<sup>3</sup>. Door de toepassing van vezels kan draagkrachttechnisch al gauw 40 kg

wapening (zonder knip en laslengte verlies) per m<sup>3</sup> worden bespaard. Op het gebied van scheurvorming presteert hybride wapening nog beter en worden verdere kosten beperkt.

## Resumé

Door jaren ervaring met advisering op het gebied van vezelversterkte constructies en traditioneel gewapende constructies is deze kennis gebundeld tot een nieuwe wijze van wapenen. Door beton te wapenen met zowel staven als vezels wordt er een nieuw materiaal gecreëerd. Hybride gewapend beton presteert beter op het gebied van:

- kostprijs
- duurzaamheid
- bouwtijd.

Door hybride gewapend beton toe te passen kunnen slankere constructies worden gemaakt dan die volgens conventionele technieken zijn te bouwen.

Het rekenproces om deze ingewikkelde wapening te kunnen dimensioneren heeft ABT onder knie. ABT kan deze rekentechniek succesvol toepassen om alle denkbare constructies en vormen te berekenen met deze nieuwe wijze van wapenen. Dit gecombineerd met de benodigde kennis van vezels en betontechnologie maakt een integrale engineering mogelijk. Hierdoor worden de risico's en nadelen van de toepassing van dit type beton tot een minimum beperkt.

ABT is uniek in het ontwerpen en adviseren van hybride gewapende betonconstructies en beschikt over de juiste kennis om er een succesvol eindproduct van te maken.



## Verdere informatie is te verkrijgen bij

ing. M.B.H. Menting  
Adviseur civiele techniek

[m.menting@abt.eu](mailto:m.menting@abt.eu)

## ABT bv

Arnhemsestraatweg 358 Velp  
Postbus 82 6800 AB Arnhem  
T +31 (0)26 368 31 11

Delftechpark 12 Delft  
Postbus 458 2600 AL Delft  
T +31 (0)15 270 36 11

Kammenstraat 18  
2000 Antwerpen  
T +32 (0)3 205 37 11

[www.abt.eu](http://www.abt.eu)  
[info@abt.eu](mailto:info@abt.eu)