

Masterschap en Meesterschap in Structural Design.

Afscheidsrede uitgesproken op 20 december 2006 door

Prof. ir. Jacques Berenbak.

Hoogleraar “Structural Design”

Faculteit der Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft

Trefwoorden: Structural Design; Concepten; Betrouwbaarheid.

*Mijnheer de Rector Magnificus, leden van het College van Bestuur,
Collegae hoogleraren en andere leden van de universitaire
gemeenschap.
Zeer gewaardeerde toehoorders,
Dames en heren.*

Waarom Masterschap en Meesterschap naast elkaar in de titel van mijn voordracht?

Dit komt omdat ik het voorrecht heb genoten, om mijn werkzaamheden als staalconstructeur en onderwijsgevende enerzijds in het bedrijfsleven te kunnen verrichten, dus dicht bij de realisatie van de ontwerpen, en tot september dit jaar anderzijds bij de universiteit in nauw contact met de wetenschap.

Ik heb zowel de Meesters in het vakmanschap, als de universitaire Masters in de wetenschap met elkaar kunnen vergelijken. Het kennisniveau ligt daarbij vaak op een gelijkwaardig peil en vult elkaar aan. De één heeft de ander nodig.



Bridge over the Firth of Tay.

Waarom gestart met een ongeval?

Op de avond van 28 December 1879 reed een stoomlocomotief met zes rijtuigen de enkelsporige brug over de Firth of Tay bij de Engelse plaats Dundee op. Het was slecht weer en er stond een storm windkracht 10 à 11 loodrecht op

de brug. Het concept van de brug was hoog en slank met ranke diagonalen. De brug bezweek onder de totale belasting en er vielen 75 doden. Zoals gebruikelijk vond dit ongeluk plaats door de combinatie van een aantal oorzaken. De windkrachten waren onderschat, het ontwerp was pover, de uitvoering was slecht en het concept veel te kritisch.

Kortom een situatie die heden ten dage nog zou kunnen optreden, ware het niet dat wij van ongelukken kunnen leren. In het verleden zijn veel van dit soort ongelukken gebeurd en zij gaven aanleiding om de uitgangspunten van de ontwerpen nog eens kritisch te bekijken en de normalisatie en wetgeving aan te scherpen. Zo ontstond langzamerhand een op de praktijk afgestemde regelgeving die, met regelmatige bijstellingen, als algemeen geaccepteerd werd.

Het constructief ontwerpen bestaat in de eerste plaats uit het evalueren van concepten op stabiliteit, stijfheid en sterkte in samenhang met de beschikbare materialen en uitvoering.



Firth of Forth Bridge

(foto Baxter)



Firth of Forth Bridge

(foto Baxter)

Het ongeluk gaf dan ook aanleiding om het ontwerp van de bekende Firth of Forth Bridge aan te passen tot een meer robuust concept, dat vertrouwen moest geven aan de investeerders en de toekomstige gebruikers. In 1881 werd de keuze daarop bepaald en negen jaar later werd in 1890 de 58.000 ton wegende brug in gebruik genomen en is tot op heden nog in dienst.

De geklonken constructie van de brug uit platen, strippen en hoeksta-
len geeft aan wat toen ter tijd geproduceerd en verwerkt kon worden. De onderdelen werden in de werven met proefmontages op elkaar pas gemaakt, naar de bouwplaats vervoerd en vervolgen met zeer eenvoudige hulpmiddelen op hun plaats gehesen en vol en zat in de lood-
menie afgeklonken.

Een goed te onderhouden en degelijke constructie. Hierbij waren wel hoogwaardige vaklieden voor nodig, die de werkzaamheden onder de leiding van ervaren Meester gezellen en met ruim toezicht uitvoerden. Ik houdt de ontwikkeling van de bruggenbouw nog even aan, omdat de ontwikkelingen daar duidelijk herkenbaar zijn.

Ontwikkeling boogbruggen.

Zo bleek het concept van de boogbrug in Nederland lange tijd goed toepasbaar, omdat de brug met zijn geringe dekhoogte vlak boven het water kon worden aangelegd, wat bij een slechte ondergrond op dure landhoofden bespaart. Er werden verticale hangers toegepast, wat om een verstijfde boog (brug Nijmegen) of een verstijfde onderrand vraagt.



Boogbrug Nijmegen

(Foto T. Van den Heuvel)



Van Brienoord Brug

(foto F. Van Dam)

In de zestiger jaren ontwerpt Van der Eb van Rijkswaterstaat een grote brug met diagonale hangers (Van Brienoordbrug) waarbij de diagonale kabels voor de vormstijfheid van de brug zorg dragen. Bij bepaalde verhoudingen blijkt dat mogelijk. Deze variatie op het concept gaf een voor die tijd onvoorstelbare slanke brug. Zelfs bij twee gelijke bruggen naast elkaar blijft het aanzicht transparant.



Dit principe komt terug in de verdere ontwikkelingen, waarvan de Céramique brug in Maastricht een extreme constructieve navolging is.

Céramique brug te Maastricht. (Foto Kim Zwarts)

Een ander voorbeeld van extreme technologie is aan de orde bij de Millennium brug te Newcastle, waar een gebogen voetpad aan een boog is opgehangen. In de geopende stand geeft deze beweegbare brug doorgang aan de scheepvaart



Millennium Bridge te Newcastle

(Foto G. Peacock).



Montage Van Brienenoord Brug

Ontwikkeling tuibruggen.

Montagemogelijkheden kunnen grote invloed hebben op de concept-keuze. Waar de eerste Van Brienenoordbrug nog op stellingen in de rivier werd gebouwd, werd dit bij de toenemende en groter wordende scheepvaart te riskant en werd er naar een ander concept gezocht



De brug Ewijk in vrije uitbouw.

Het antwoord werd gevonden in het concept van de tuibruggen, die de mogelijkheid boden van een vrije uitbouw zonder belemmeringen in de rivier. Deze bruggen kunnen zonder ondersteuning uitkragend worden gebouwd. Dit model vond over de hele wereld veel navolging.

In Nederland werd o.a. de brug Ewijk in deze vormgeving gebouwd.



Kohlbrandbrücke te Hamburg

Vervolgens werden vele varianten op dit principe ontwikkeld, de pylonen kregen een fraaiere vormgeving, de tuikabels werden enkele kabels en op een kortere afstand bevestigd en naar de zijkant verplaatst, waardoor de montage en het onderhoud vereenvoudigd werden.

De hoogte van de pyloon van de Willemsbrug werd bij voorbeeld afgestemd op de maximale hoogte van beschikbare bokken. De invoer van de kabels in de pylonen werd gespreid om de krachten beter over te kunnen dragen.

In Nederland trad een trendbreuk in deze gecombineerde technische en architectonische benadering op, bij het ontwerp van de Erasmusbrug. Deze Rotterdamse tuibrug werd in eerste instantie ontworpen als een stijve pyloon, aan de onderzijde ingeklemd in de aanbrug die de overkragende brugbelasting via de tuien op buiging zou dragen. De vormgeving was daarop uitgelegd.



Willemsbrug te Rotterdam

(Foto J.Berenbak)



Erasmusbrug te Rotterdam

(foto C.H. van Eldik.)

Toen bleek dat dat niet haalbaar was, zijn zware achtertuien aangebracht om de brugbelasting op te nemen. De pylooninklemming is hier niet op aangepast, waardoor het concept constructief tegenstrijdig werd.

Vervolgens kregen de constructeurs de opdracht om de brug binnen de gegeven vormgeving uit te werken, wat dankzij juist beschikbaar gekomen hoge sterkte stalen nog net mogelijk bleek te zijn. Constructieve vormgevers waren niet gelukkig met deze ontwikkeling.



De Citer te Haarlemmermeer - Calatrava

Extreem zijn natuurlijk ook de tuibruggen van Calatrava in de Haarlemmermeer, die relatief kleine overspanningen dragen. De pyloon van de Citer wordt in feite door de tuidraden staande gehouden

Extremen.

Het zoeken van de architecten naar uitersten gaat natuurlijk ook wel eens mis.

Het extreem lage concept van een hangbrug die Foster voor het ontwerp van de Millennium brug te Londen gebruikte, gaf aanleiding tot ongewenste slingeringen van de brug wanneer er teveel mensen tegelijk op liepen. Uiteindelijk bleek de zijdelingse stijfheid te gering, waardoor het “waggelend” lopen van de aanwezigen aanleiding gaf tot een dermate grote horizontale impuls, dat de brug in een eigenfrequentie kwam. Door het aanbrengen van een groot aantal dempers werd dit euvel naderhand verholpen.



Millennium Bridge Londen

(Foto J. Berenbak)



Nescio Brug Amsterdam

(Foto ARUP)

Deze ervaring is al direct verwerkt in het ontwerp van de hangbug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Amsterdam, de Nescio brug. Hier heeft men de dempers al direct ingebouwd. Het hoog ontwikkelde concept geeft blijk van een goede samenwerking tussen vormgevers, constructeurs en uitvoerenden.

Uit het voorafgaande blijkt dat de concepten steeds verder geperfectioneerd worden, en dat de architecten de constructeurs steeds verder naar de grenzen van de technische mogelijkheden dringen.



Hijsen, met masten in de zestiger jaren.

Ontwikkeling van gebouwen.

Bij de gebouwen is de ontwikkeling in concepten minder duidelijk gegaan. Hier hebben de ontwikkelingen zich meer in nieuwe toepassingen van materialen en de uitvoering geuit.

Eind zeventiger jaren was in de nadagen van de wederopbouw van Nederland. De opdrachten werden praktisch uitgevoerd. De concepten werden veelal primair op functionaliteit en uitvoerbaarheid getoetst, de architect kreeg weinig ruimte om de vormgeving te bepalen.

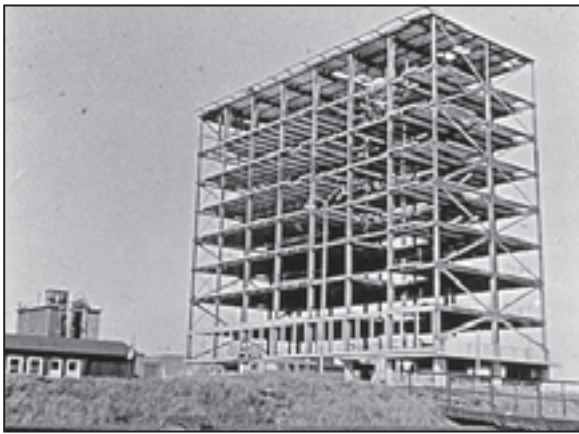
Tekenwerk ging nog met de driehoek of tekenmachine, rechthoekig was het eenvoudigste in de maatvoering. Wellicht had de architectuur hier zich op aangepast.

De skeletten werden op draagkracht berekend. Invullingen van metselwerk en andere materialen werden niet in de berekeningen meegenomen, zij gaven een extra stijfheid en veel incasseringsvermogen. De uitvoeringsmogelijkheden waren beperkt, beton werd nog op de bouwplaats gemengd.

De fabricage was toen nog erg ambachtelijk, de maatvoering werd nog met de hand afgetekend. Er werd wel een bescheiden start naar automatisering gemaakt. Op montage was de kraancapaciteit nog gering, en de veiligheid was nog minder streng geregeld.

Berekeningen werden met de hand op transparant papier gemaakt om ze door lichtdrukken te kunnen vermenigvuldigen. De rekenliniaal werd voor vermenigvuldigen gebruikt.

Er werden lineaire berekeningen gemaakt, waarbij de toelaatbare spanningen maatgevend waren. Er werd nog geen rekening met herverdeling gehouden, en met de momentenlijnen werd gemanipuleerd door opleggingen te verplaatsen. Dit zijn nu volkomen achterhaalde technieken.



Eenvoudige constructieve concepten. (Foto SG)



Montages zonder vangnetten (Foto J. Berenbak)

De relevante beschikbare constructieve Nederlandse voorschriften bestonden uit:

- de TGB 1955 Technische Grondslagen Bouwvoorschriften (42 blz. A5),
- de VOSB 1963 Voorschrift Ontwerpen Stalen Bruggen (96 blz. A5),
- de Gewapend Beton Voorschriften GBV 1962 (120 blz. A5)

Deze normen leunden nog zwaar op de praktische benaderingen van voor de tweede wereldoorlog. Zij werden gezien als een handleiding voor de constructeur om tot een verantwoord ontwerp te komen.

Als student kende je deze voorschriften al vrijwel geheel uit je hoofd. De bouwregelgeving was in de Gemeentelijke Bouwverordeningen helder vastgelegd in gangbare technische taal. De vaktechnische literatuur was vrijwel volledig Duits.



Oxy-staalfabriek 2 - KNHS

(Foto

Eén van de eerste grote computerberekeningen werd ingezet bij de dimensionering van de Oxy-staal-fabriek 2 voor de Hoogovens te IJmuiden. Het was een tweedimensionale staafkrachtenberekening van een aantal dwarsdoorsneden, die s' nachts op de universiteits-computer van Amsterdam gedraaid werd. De gegevens kwamen enkele dagen later ter beschikking en bestonden uit de normaalkrachten, dwarskrachten en momenten. Aan de hand daarvan kon de dimensionering met de hand gecontroleerd worden. Dat kostte heel veel uren.

Momenteel kost zo'n berekening enkele seconden, waarbij niet lineair gerekend wordt en de dimensionering door het programma zelf gecontroleerd wordt. De output geeft in percentages aan in hoeverre het materiaal is uitgenut. Een verdere optimalisatie is snel uit te voeren.

Het persoonlijk vakmanschap lag in die jaren binnen de werkplaatsen en de bouwplaatsen op een hoog peil en men voelde zich verantwoordelijk voor zijn werk. Er werden door de werkmeesters in de werkplaatsen veel proeven gedaan om de hoogst bereikbare kwaliteit te bepalen. Men zag dat niet als research, maar meer om ervaring op doen of om efficiënter te kunnen werken. De opgedane kennis werd niet vastgelegd, het hoorde bij het vakmanschap van de fabriek. De specifieke kennis van deze "werkmeesters" kon die van de wetenschappelijke laboratoria overtreffen.

Constructieve Normering 1972

Met de komst van het nieuwe normenstelsel in 1972 werd het mogelijk om plasticiteit en herverdeling in het constructief ontwerp op te nemen. Voor staal en beton bestond de serie uit:

- NEN 3850 – Algemeen gedeelte en belastingen 43 blz.A4
- NEN 3851 – Staalconstructies 121 blz.A4
- NEN 3861 – Voorschriften Beton 119 blz.A4

Uitgangspunt werd het voldoende afstand nemen tot het bezwijken van de constructie. Dit geeft een veel reëlere benadering van de capaciteit van het bouwwerk. Onderscheid wordt nu gemaakt tussen het gedrag in de gebruiksfase en de verplaatsingen bij het bezwijken.

Deze nieuwe benadering maakte een geheel nieuwe aanpak mogelijk, dat leidde tot een nieuw aanvullend normenstelsel waar veel wetenschappelijk onderzoek in verwerkt werd.

De normen werden specifieker en daardoor uitgebreider. Nieuwe toeleverings producten kwamen in opkomst, zoals kanaalplaten en stalen dak en wandplaten.



Kanaalplaatvloeren.

(Foto C. Landstra)

Binnen de bedrijfstak werd op basis van deze normen en producten veel onderzoek gedaan naar standaardisatie, waarbij een optimaal gebruik van de materialen en besparing van arbeid voorop stonden. Dit leidde onder meer tot een gestandaardiseerde berekening voor verbindingen. Door deze methode te incorporeren in bestaande rekenprogramma's konden zelfgenererende tekenprogramma's ontwikkeld worden, waarbij deze programma's zelf de dimensionering en maatvoering van de knooppunten kunnen bepalen.

Vervolgens kunnen deze gegevens rechtstreeks naar numeriek bestuurd boor- en zaagstraten worden gestuurd, waardoor een groot aantal basisproducten goedkoop en nagenoeg foutloos geproduceerd kunnen worden. Aangezien deze numeriek bestuurd machines ook de maatvoering voor hun rekening nemen kan er in een willekeurige volgorde geproduceerd worden, en wordt serieproductie minder noodzakelijk.



Constructie met stalen dakplaten

(Foto BmSt)



Standaardisatie knooppunten

(Foto BmSt)

Door tekeningen met de computer te gaan vervaardigen werd de maatvoering op de tekenkamer minder problematisch en kunnen afwijkende vormen zonder veel extra kosten geproduceerd worden.



Hoogbouw kwam in opkomst, waarbij ook hier door de verre-gaande automatisering aan de specifieke logistieke fabricage en leveringseisen eisen voldaan kon worden.

Numeriek bestuurd boorstraat.



Collapse Milford Haven Bridge
(Foto Inst. Struct. Eng.)

Probabilistisch ontwerpen,

Voor de volgende constructieve bouwkundige ontwikkeling grijp ik terug naar het bezwijken van de Milford Haven Bridge in 1969. Deze kokervormige tuibrug bezweek tijdens de vrije uitbouw door het plooien van het verstijvingsschot boven de oplegging.

De krachtsinvoer was verkeerd ingeschat. Men had toen nog niet de programmatuur, de computers en de tijd om dit met een eindige elementen programma vast te stellen.

Naar aanleiding van dit ongeluk werd, zoals gebruikelijk in Engeland, een “Royal Committee” ingesteld onder leiding van de natuurkundige professor Merisson. Hij bepleitte een volledige probabilistische (of statistische) benadering bij de berekening van constructies, waarbij de constructie als geheel aan een vooraf bepaalde faalkans moet voldoen. Deze volledig wetenschappelijke benadering was echter dermate complex, dat daar niet aan voldaan kon worden.

Inmiddels volgden in andere landen dergelijke discussies, wat geleid heeft tot een algemeen geaccepteerd doch sterk vereenvoudigd model. Er wordt hierbij uitgegaan van de faalkans per onderdeel van de constructie. In Nederland zijn rond 1980 een groot aantal bestaande gebouwen nagerekend om zo tot een ijkking van de algemeen aanvaarde faalkans van deze constructies te komen.

Wij moeten ons beseffen dat in de rond 1980 geijkte geaccepteerde faalkansen niet alleen de via normen geregelde belastingen en sterkten van de berokken constructies zijn opgenomen, maar ook de menselijke fouten zoals die toentertijd gemaakt werden. Hier spelen ook de extra aanwezige reserves in die constructies, met de controle en het toezicht toentertijd, een niet te onderschatten rol.



Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg.

Betrouwbaarheid van constructies.

Voor de Nederlandse Waterbouw was de probabilistische benadering al lang een geldend principe en zijn er faalkansen voor de bescherming tegen overstromingen in de Delta-wet van 1953 opgenomen.

De Maeslantkering is volgens mij de enige grote constructie in Nederland die volgens een faalkans voor het totale concept is berekend.

Het programma van eisen was hier helder. Door het tegenhouden van voldoende water moest het hoogste te verwachten hoogwater in Rotterdam met een faalkans van $1/1.000.00$ per jaar 1,60 meter worden afgetopt en in Dordrecht met 0,40 à 0,50 meter.

Verder een aantal randvoorwaarden als een doorvaartbreedte van 360 meter, een drempeldiepte van 17 meter, een levensduur van 100 jaar, een zeespiegelrijzing van 0,50 meter en een vrije doorvaart.

Een zestal combinaties heeft voor deze eisen een ontwerp en aanbieding gemaakt. De conceptkeuze bleek hier uiteindelijk bepalend te zijn om de faalkans te kunnen halen.

Het uitgevoerde ontwerp bestaat uit 200 meter lange drijvende segmentdeuren, met armen verbonden aan een bolscharnier. De deuren hoeven in de komende honderd jaar maar een gering aantal malen te functioneren. Om onderhoud en eventuele reparaties of aanpassingen te kunnen verrichten, liggen zij opgeborgen in een dok dat droog gezet kan worden. Indien nodig wordt de dokken geopend, de deuren wordt naar buiten gebracht en afgezonken.

Bij dat afzinken jaagt een sterke stroom onder de deuren door en verwijderd het eventuele slib dat op de drempel ligt. Dit sediment kan lokaal een laagdikte van zeven meter bereiken.

Uit deze studie kan afgeleidt worden dat de kleinste faalkans ontstaat bij een simpel en overzichtelijk concept met heldere functies. Verder moet er reserve aanwezig zijn om eventueel bezwijken van onderdelen op te vangen.

Om de faalkans te kunnen halen moest een bediening door de mens uitgesloten worden omdat menselijk handelen een veel te grote faalkans heeft. Het foutenrisico van de mens ligt te hoog. De computer zou wel voldoende betrouwbaar zijn. Inmiddels is gebleken dat de programmering hiervan het zwakke punt kan zijn en dat ook de computer weer gecontroleerd moet worden. Iedere constructeur kent deze ervaring.

Fouten en onvolkomenheden zullen altijd optreden.

Constructieve Normering 1990.

Het vereenvoudigde systeem van het probabilistisch ontwerpen is in 1990 in het constructieve normenstelsel opgenomen. De betrouwbaarheidsfactoren die de afstand tussen de belastingen en het bezwijken bepalen zijn nu afhankelijk van de aard van de belastingen bepaald. Er ontstaat zo een evenwichtig materiaalafhankelijk veiligheidsniveau voor alle constructie onderdelen met in acht name van de gevolgschade die een eventueel bezwijken zou kunnen veroorzaken.

De belangrijkste delen uit de serie zijn:

- NEN 6702 Belastingen en vervormingen 1 deel
- NEN 6720 Staalconstructies 6 delen
- NEN 6760 Betonconstructies 4 delen

Het stelsel van normen werd verder uitgebreid met verdiepingen naar een aantal toepassingen. De formuleringen zijn éénduidiger in verband met de programmeerbaarheid in de computerprogramma's. Zij bevatten een toename van kennis en bieden meer mogelijkheden.

Het geeft de ontwerpers een grote vrijheid om bijzondere constructies te ontwerpen. De moderne rekenprogramma's kunnen vrijwel alles aan. Door de grote berekeningssnelheid kunnen de dimensioneringen tot een vrijwel volledige benutting van de materialen worden doorgevoerd. Invullingen kunnen bij de berekeningen betrokken worden. Constructies worden lichter en er blijft minder verborgen incasseringsvermogen beschikbaar.



Brandweerkazerne Amstelveen (Foto VVHK)



Woonzorgcomplex Wozoco (FotoB.van Hoek)

Architecten maken daar gebruik van en ontwikkelen vormen die in de tachtiger jaren ondenkbaar waren. De constructies worden extremer en opvallender.

Bovendien komt er meer geld beschikbaar om prestigeprojecten te bouwen. Een goed voorbeeld is het ING gebouw, waar de vormgeving maatgevend is geweest voor een complexe constructie, die dankzij het beschikbare computergebruik te verwezenlijken was.

De bekleding van zo'n gebouw vereist een uiterste aan toleranties om met de spiegellende wanden een strak aanzicht te krijgen.



ING (Foto Luuk Kramer)



Utrechtse Baan - Den Haag (Foto AVEQ)



Kennedy-toren Eindhoven

(Y. De Groot)



Bijzondere constructies.

In navolging van Londen, waar British Railways ontdekte dat projectontwikkeling op zijn stationsterreinen in de binnenstad bijzonder rendabel was, kwam ook in Nederland de verdichting in de steden op gang.

Met wellicht Phase 11 van het Broadgate programma in gedachten, worden in Nederland nu ook kantoorgebouwen over wegen heen gepland en gebouwd. Deze bouwwerken vragen om een grote betrouwbaarheid.

Bij de stedelijke verdichting wordt nu ook op de aantrekkelijke locaties in toenemende mate naar hoogbouw gegrepen, waarbij opvallende vormen niet vermeden worden.

De Kennedy toren te Eindhoven en de ontwerpen van de Zuid-as zijn hier voorbeelden van.

Projectvoorstel aan de Zuidas.



Scheepvaart en Transport College Rotterdam
(Foto Sarens Nederland)

Dat deze vormen ook te verwezenlijken zijn bewijst de uitbouw van het Scheepvaart en Transport College te Rotterdam, waar twee 600-tons kranen een uitbouw van 300 ton op zijn plaats tilden.

De hijs- en transport mogelijkheden zijn in Nederland door de Meesters in die bedrijven tot een in de wereld ongekend hoog niveau opgevoerd.

Bij het ontwerp en de uitvoering van het nieuwe hoofdkantoor voor de Benelux van Unilever is hier gebruik van gemaakt.



De Brug – Unilever Benelux (Foto J. Berenbak)



Verrijden en verschuiven van De Brug (Foto J. Berenbak)

De constructie van het 31 meter brede, 130 meter lange en vier verdiepingen hoge kantoorgebouw is op een naastgelegen terrein samengesteld en vervolgens door middel van rijden op samengestelde zwaarlast-wagens, en glijden over een met teflon belegde baan, op zijn plaats gebracht boven een in continubedrijf zijnde margarinefabriek. Het bedrijf heeft hiertoe slechts een weekend stilgelegd. Bij de verplaatsing werden offshore technieken toegepast.

Een efficiënt staaltje van dubbel ruimtegebruik, dat zeker nog navolging zal vinden.

Nederland kennisland.

Al met al loopt Nederland op dit moment zeker niet achter op constructief gebied. Vanuit de Europese markt werd al regelmatig een beroep gedaan op de Nederlandse kennis en capaciteiten bij complexe opdrachten.

Een in het oog lopend project was het London Eye, waar British Airways in de zomer van 1998 met de vraag bij Hollandia kwam of zij in staat waren om nog voor de eeuwwisseling een 135 meter hoog reuzenrad in het centrum van Londen op te richten. Er waren 16 maanden beschikbaar om van schetsontwerp tot functioneren te komen. Door het ontwerp breed aan te pakken, een groot aantal adviseurs en collega's en onderaannemers in te schakelen en de productie al te starten op basis van beperkte berekeningen, is dit gelukt.



Het London Eye

(Foto J. Berenbak)



Overzicht assemblage plaats

(Foto Ian Lambot)

Hierbij is door de BV Nederland de gezamenlijke kennis van de Masters (TNO en TU Delft) en de Meesters in de ingenieursbureaus en bedrijven ingebracht, wat resulteerde in een innoverende montage met de inzet van materieel dat juist ter beschikking was gekomen. Door deze fast-track aanpak konden de eerste leveringen op de bouwplaats al na 9 maanden plaats vinden. Na wat tegenslag bij een proefbelasting kon het wiel nog op tijd met een kracht van 2300 ton worden opgekanteld en afgebouwd. Het kon op de bewuste oudejaarsavond draaien bij de ingebruikstelling door premier Blair.



Queens Walk moest vrij blijven. (Foto Ian Lambot)

Dit project toonde ook aan dat de van toepassing zijnde normen niet altijd met de te stellen eisen aan een bouwwerk voldoen. Volgens de geldende normen zou voor het wiel de norm voor gebouwen voldoen. In een zeer verkennend stadium ben ik echter al met de certificerende ingenieur overeenge-

komen om het ontwerp volgens “good engineering” uit te voeren en gezien het grote aantal personen

dat zich vrijwel permanent in het wiel bevindt de nodig extra reserves in te bouwen. In feite werd hier ook de zekerheid van de Firth of Forth brug ingebouwd.

Wanneer wij de stand van zaken tot zover bekijken, dan zien wij dat:

- de computercapaciteit explosief is toegenomen,
- sterke 3-d teken- en rekenprogramma's beschikbaar zijn gekomen,
- de constructieve mogelijkheden via de normen zijn toegenomen,
- de constructieve mogelijkheden in productie en uitvoering zijn toegenomen.



Garden of Eden te Cornwall

internet

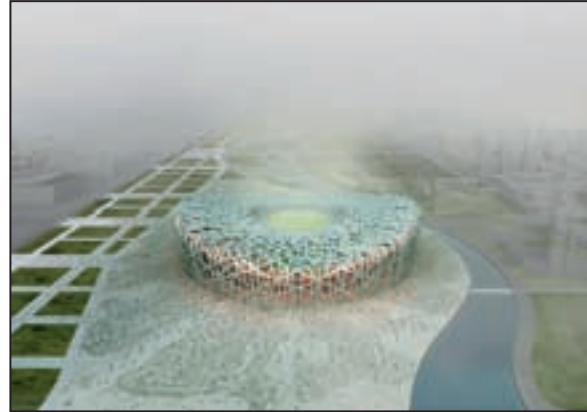
Natuurlijk blijven de architecten daarmee naar uitersten zoeken en drijven zij de constructeurs naar grensverleggende bouwwerken zoals de Dome Garden of Eden van Grimshaw and Partners te Cornwall, een transparante dôme rustend op een ruimtevakwerk.

Een ander uiterste wordt het Wembley Stadium te Londen met een capaciteit van 90.000 toeschouwers, waar een ultra licht dak met grote verrijdbare elementen een ruimte van ongeveer 200 bij 300 meter afdekt.

Het dak is eenzijdig opgehangen aan een grote boog, waarbij via kabelspanten de andere zijde gedragen wordt. Om de boog niet al te zwaar te belasten is de constructie in verregaande mate geoptimaliseerd om materiaal uit te sparen. Hierdoor is de montage van dit dak uitermate gecompliceerd is geworden en overtrof de hoeveelheid montagemateriaal het gewicht van het dak.



Wembley Stadium London in aanbouw. Internet



Het Olympisch Stadion te Peking. Internet

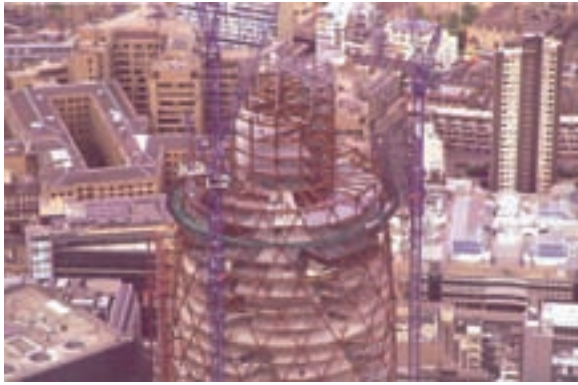
Dit stadion wordt inmiddels al weer overtroffen door het 91.000 zitplaatsen tellende Olympische stadion in Peking van Herzog en de Meuron. De constructie van dit vogelnestje bestaat uit grote gebogen en getordeerde kokerliggers, wat een meesterschap in vakmanschap vereist. De ruwbouw staat er inmiddels al.



Swiss Ree van Norman Foster

Logistiek en geïntegreerd ontwerp.

Een specifiek probleem van de komende tijd wordt het bouwen op kleine locaties. De logistiek gaat hier al in de ontwerpfase een belangrijke rol spelen. De aanvoer van onderdelen, de kraancapaciteiten en de snelheid van uitvoering worden maatgevend voor de keuze van de samenstellende componenten. Bij de bouw van Swiss Ree van Foster te Londen was er op de bouwplaats ruimte voor één truck met oplegger, waarbij de aangevoerde delen rechtstreeks van de oplegger in het werk moesten worden gebracht.



Hoge bouwsnelheid bij beperkte werkruimte.

De werkplek boven was van een geringe afmeting, waar wel 1 à 2 verdiepingen per week moesten worden gemonteerd. Bovendien moesten nauwe toleranties gehaald worden om de spiegellende ruiten in de juiste stand te kunnen monteren. Om tijdverlies voor controlemetingen te voorkomen zijn daarom alle onderdelen van de buiten-

schil op tienden millimeters machinaal bewerkt, waardoor zij zonder uitvoerige metingen op maat gestapeld konden worden.

Deze concepten vereisen door hun compactheid een geïntegreerd ontwerp waarbij alle onderdelen onderling op elkaar moeten worden afgestemd. De gevels en de installaties moeten immers in een zelfde tempo geïnstalleerd kunnen worden.

“Workshop High Rise Buildings”.

Om de studenten hiermee vertrouwd te maken organiseerde ik 15 jaar lang de internationale “Workshop High Rise Buildings”, waarin zij in zeven weken tijd in groepjes van vijf een 250 meter hoog kantoorgebouw moeten ontwerpen.

Dit is een samenwerkingsverband tussen Bouwkunde en Civiele techniek waar ook internationale studenten voor worden uitgenodigd.

Binnen het team van vijf neemt iedere student een specifieke ontwerp-taak op zich, met keuze uit architectuur, constructie, installaties, gevels en scheidingconstructies, of management en kostenbeheer.

Met name management studenten komen hierdoor intensief in aanraking met het ontwerpproces en gaan zich de onderliggende problemen beter beseffen.



De doelstelling van dit stuk onderwijs is dan ook:

- het onderkennen van het nut van geïntegreerd ontwerpen,
- het multi-disciplinair leren ontwerpen in teamverband,
- het onderling waarderen, en gebruik maken van elkaars sterke punten,
- de noodzaak leren kennen van het sluiten van compromissen,
- het leren om gebruik te maken van adviseurs.

Gedurende de workshop worden de teams bijgestaan door adviseurs uit de betreffende disciplines. Om de workshop op een top niveau te brengen wordt er ieder jaar een coryfee uit de wereld van de hoogbouw uitgenodigd om de studenten een week lang bij te staan.

De workshop staat goed bekend en de grootsten op dit gebied zijn allen op onze uitnodigingen ingegaan.



Komende cursus komt John Zils van SOM Chicago voor een tweede maal. Hij is de constructief ontwerper van de Burj Dubai, het hoogste gebouw ter wereld in aanbouw.

Zils zal de teams mede begeleiden naar een eindpresentatie, waarop zij een nagenoeg professioneel ontwerp kunnen tonen, met een onderbouwde verantwoording naar alle aspecten.

Totaal hebben zo'n 2000 studenten aan de workshop deelgenomen, hij zal in de huidige vorm worden voortgezet.

Waarom wordt geïntegreerd ontwerpen in bouwteams zo belangrijk.

- Ontwerpcapaciteiten zijn nu vrijwel onbeperkt beschikbaar, waarbij grote complexe berekeningen snel gereed zijn en herhaald kunnen worden,
- Dit leidt tot verstrekkende optimalisaties, waarbij de materialen veel verder worden uitgebuit.
- De technische mogelijkheden zijn verregaand geperfectioneerd, waardoor specialisaties bij de toepassing daarvan onontbeerlijk zijn.
- De regelgeving wordt steeds complexer, wat om toelichting en uitleg vraagt.
- Vanuit het ontwerpproces is bij een toename van deelnemers een snelle en correcte uitwisseling van gegevens nodig.
- Vanuit de projecten wordt de druk op de kosten steeds groter.
- Het geheel wordt gestuurd door projectmanagers die het proces vaker zullen bijsturen, waardoor de uitwisseling van gegevens nog kritischer wordt.
- Ondanks een afname van het aantal lessen verbreedt het technisch onderwijs zich, waardoor de diepgang terugloopt.
- De technische vakkennis van met name de instromers neemt hierdoor af, zij moeten in dit proces ervaring op kunnen doen.
- Het proces wordt door deze complexiteiten gevoeliger voor menselijke fouten.

Wat zijn de constructieve risico's?

Vanuit de wettelijk aangewezen normen worden de door de constructies op te nemen belastingen gestuurd. Zij worden steeds scherper omschreven en gedefinieerd.

Het gebruik van de materialen ten behoeve van de optimalisatie van de constructieve ontwerpen wordt eveneens afgedekt door deze normen, waarbij de omschrijving van “voldoende incasseringsvermogen” wel ruimte overlaat aan de interpretatie van de constructeur.

Hierdoor neemt de nog “verborgen” sterkte in de bouwwerken af, waarbij de kans op bezwijken door menselijke fouten toeneemt.

Dit zou gecompenseerd moeten worden door een gelijkwaardig aangescherpte controle op ontwerp, berekening en ook het toezicht op de uitvoering.

De mate en de wijze van controle en het toezicht zijn echter niet omschreven in de betreffende normen. De opstellers van deze voorschriften zijn er van uit gegaan dat dit nog steeds even betrouwbaar plaats vindt als bij de ijking van de betrouwbaarheid rond 1980.



Van een tekort aan incasseringsvermogen hebben wij geleerd uit een ongeval in Ronan Point te Londen. Hier vond een kettingreactie plaats toen bij een gasontploffing in een keuken een wand bezweek.

Er zijn handleidingen beschikbaar om tot een verantwoord ontwerp te komen.

Ronan Point London

Internet



Ander ligt het bij de instorting van een aantal balkons te Maastricht. Hier betrof het een samenloop van een aantal fouten en communicatiestoornissen, die bij een betere controle en een goed toezicht voorkomen had kunnen worden.

Bezwijken van balkons te Maastricht

Hoe sturen de Eurocodes betrouwbaarheid aan?

De Eurocodes zullen over enkele jaren verplicht worden binnen de Europese Unie, waarbij de betreffende landen nog wel enige jaren de tijd hebben om nationaal wat bij te sturen. Zij geven een zeer uitgebreid pakket aan mogelijkheden, waarbij de verschillende belastingen en constructieve mogelijkheden veelal in afzonderlijke normen beschreven worden.

Het toezicht is nog maar in een beperkte mate normatief vastgelegd, alhoewel de nieuw in te voeren Eurocodes er wel op aansturen.

- EN 1990: Basis of Design 1 deel
- EN 1991: Actions on Structures 10 delen
- EN 1992: Concrete Structures 4 delen
- EN 1993: Steel Structures 20 delen
- EN 1994: Composite Steel and Concrete Structures 3 delen

Alleen al voor het ontwerpen van staal- en beton constructies zullen 37 normen beschikbaar zijn, inclusief de andere constructiematerialen 58 stuks. Gemiddeld zullen de normen uit meer dan 100 pagina's A4 bestaan, wat op een totaal van meer dan 6000 blz. A4 zal uitkomen.

Wanneer men daar ook nog de andere regelgevingen, zoals het Bouwbesluit, bij betreft, dan is het duidelijk dat een constructeur dit maar gedeeltelijk met cursussen bij kan houden. Er zullen in de toekomst in toenemende mate specialisaties op gaan treden.

Aanwijzing normen via het Bouwbesluit.

Via het "bouwbesluit" geeft VROM wettelijk aan waar bouwwerken constructief aan moeten voldoen. Hierbij worden alleen die normen, of onderdelen van normen, aangewezen die betrekking hebben op de "sterkte", ofwel de betrouwbaarheid tegen bezwijken van de constructies.

Dit zijn dus de normen die de belastingen aangeven met de in rekening te brengen belastingsfactoren, en die delen van de materiaalnormen die de uiterste draagkracht beschrijven.

Gebruikstoestanden worden aan het particulier initiatief overgelaten.

Alhoewel controle op het ontwerp en de berekening, en het toezicht op de uitvoering als onderdeel van de betrouwbaarheid van de "sterkte" beschouwd moeten worden, zijn er geen aanwijzingen opgenomen hoe dit geregeld dient te worden.

Aansturing controles en toezicht.

In de Eurocode NEN-EN 1990 "Basis of Design", de basisnorm voor de materiaalgebonden normen, worden de constructies voor de bepaling van de te stellen betrouwbaarheid verdeeld in 3 niveaus, al naar gelang van de consequenties of de gevolgen bij bezwijken.

NEN-EN 1990: Tabel B1- Definitie van gevolgklassen.

Gevolgklasse CC*	Omschrijving	Voorbeelden van gebouwen en civieltechnische werken
CC3	Hoog: met grote gevolgen voor het verlies van mensenlevens , of zeer grote economische , sociale of milieugevolgen.	Tribunes, openbare gebouwen waarbij de gevolgen van bezwijken groot zijn (bijvoorbeeld een concertzaal).
CC2	Midden: beperkte gevolgen voor verlies van mensenlevens, aanzienlijke economische, sociale of milieugevolgen.	Woon- en kantoorgebouwen. openbare gebouwen waar de gevolgen van bezwijken beperkt zijn (bijvoorbeeld een kantoorgebouw).
CC1	Laag: met klein gevolgen voor verlies van mensenlevens en kleine of verwaarloosbare economische, sociale of milieugevolgen.	Gebouwen voor de landbouw waar mensen normaal niet verblijven (bijvoorbeeld opslagschuren), tuinbouwkassen.

Wij kennen al een overeenkomstige indeling in de TGB Belastingen en Vervormingen.

Aan deze klasse verdeling zijn onder meer de faalkansen opgehangen, die volgens de ijkingen rond 1980 algemeen geaccepteerd zijn.

In een annex geeft de NEN-EN 1990 aan hoe de supervisie niveaus voor het ontwerp en de berekeningen van de constructies op basis van de CC classificatie geregeld zouden kunnen worden. (DSL komt overeen met CC)

Annex B: Tabel B4 – Supervisieniveaus van ontwerp en berekening.

Niveau van ontwerp- en berekenings-supervisie DSL*	Aard	Aanbevolen minimumeisen voor het controleren van berekeningen, tekeningen en bestekken.
DSL3	Uitgebreide supervisie	‘Controle door derden’ Controle uitgevoerd door een andere organisatie dan die het ontwerp en de berekening heeft gemaakt.
DSL2	Normale supervisie	“Controle door andere personen dan die oorspronkelijk verantwoordelijk waren en volgens de huisregels van de organisatie”.
DSL1	Normale supervisie	“Eigen controle”: Controle door de persoon die het ontwerp en de berekening heeft gemaakt .

Bovengenoemde indelingen zijn nog informatief gesteld om de diverse landen de mogelijkheid te geven om de supervisie aan te passen aan de eigen nationale wetgeving.

Een dergelijke controle is allang gebruikelijk bij offshore constructies, waar betrouwbaarheid voorop staat en gebreken grote gevolgen kunnen hebben.

Inmiddels heeft het “Constructeursplatform”, waarin ONRI, COB, Betonvereniging, Bouwen met Staal, VROM-inspectie en vele andere partijen deelnemen, een “plan van aanpak constructieve veiligheid” opgesteld, waarin een duidelijke regeling voor de controle van het ontwerp, de berekening en het bestek is beschreven. Hierin wordt de terugkeer van de hoofdconstructeur bepleit. Dit plan van aanpak is echter nog niet wettelijk verplicht gesteld.

Aangezien de betrouwbaarheid van een constructie ook sterk afhangt van de uitvoering, wordt in de gerelateerde Europese fabricagenormen aangehaakt op de verdeling in gevolgschaden.

In de nieuwe NEN-EN 1090-2 “Execution of Steelstructures” wordt een via de

- gevolgklassen “Consequence Classes”,
- moeilijkheidsgraad van de uitvoering “Production categories”
- aard van de belastingen “Service categories”,

onderscheid gemaakt naar vier uitvoeringsklassen “Execution classes”

Table B.3 — Recommended matrix for determination of execution classes

Consequence classes		CC1		CC2		CC3	
Service categories		S1	S2	S1	S2	S1	S2
Production categories	P1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	P2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4a)
a) EXC4 should be applied to special structures or structures with extreme consequences of a structural failure also in S1 as required by national provisions							



Deze indeling kan door de constructeur per order, per onderdeel, of zelfs per detail worden aangegeven.

In het voorschrift staan de te leveren uitvoeringen nauwkeurig omschreven.

De controle op de uitvoering wordt in dit Europese voorschrift nog open gelaten, omdat die door de nationale wetgevingen geregeld moet worden.

Uitvoering staalconstructie (Foto BmSt)

Toezicht op de uitvoering.

Kortgeleden heeft VROM de BIAB “Besluit Indieningsvereisten Aanvraag Bouwvergunning” aangepast met een nieuw artikel 1.5.2 in de bijlage, waarin de aanvrager “de naam en adres van degene(n) op moet geven die verantwoordelijk is (zijn) voor de uitvoering van de bouwwerkzaamheden”.

Deze aanvulling is waarschijnlijk geplaatst naar aanleiding van een rapport van “De Onderzoeksraad voor Veiligheid” die op basis van een aantal ongevallen een onderzoek heeft gedaan naar de “Veiligheidsproblemen met gevelbekleding” en daarbij tot de conclusie is gekomen dat de controle op ontwerp en berekening, en het toezicht op de uitvoering, niet altijd afdoende zijn. (www.onderzoeksraad.nl)



Instorting door bouwfouten. [internet](#)

Het is niet duidelijk wat deze aanvulling in de BIAB inhoud. Betreft het hier alleen de uitvoering, of zijn ontwerp, berekening en bestek hier ook onder begrepen. Bovendien is geen inhoud aan een goede uitvoering hiervan gegeven, men weet nu alleen bij wie men moet zijn als er iets mis gaat. Bezwijken, zoals de hal in Polen, kan beter voorkomen worden.

Tot nu toe wordt het toezicht door VROM overgelaten aan de betrokken marktpartijen. De opdrachtgever bepaalt hoe hij dat regelt en hoeveel belang hij aan dit toezicht hecht.

De Bouw - en Woningtoezichten hebben hier slechts een beperkte functie. Zij controleren steekproefsgewijs en dragen daarmee normaliter geen eindverantwoordelijkheid.

Natuurlijk zijn er een groot aantal opdrachtgevers die dit toezicht wel goed regelen, omdat zij het belang ervan inzien. Maar het is wettelijk niet inhoudelijk en in omvang geregeld, terwijl het als onderdeel van de sterkte van de constructie wel volgens een gevolgschadekwalificatie geregeld zou dienen te worden. De Euronormen geven hier terecht wel een aanzet toe.

Algemeen kan worden aangenomen dat er minder met vast personeel wordt gewerkt, dat er meer gebruik wordt gemaakt van ingeleenden, dat de mate van scholing (nieuwkomers) terug loopt, en het dagelijks toezicht door werkmeesters en opzichters afneemt. Dit geeft aanleiding tot een groeiende toename van bouwfouten.

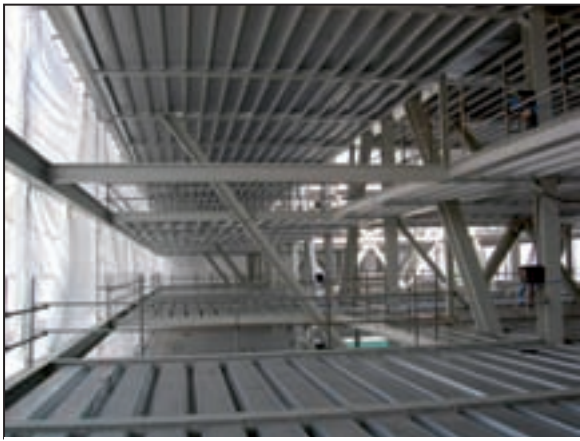
Conclusie

Momenteel werken wij met een betrouwbaarheid die rond 1980 op de toen gebruikelijke gebouwen geijkt is. Betrouwbaarheid bestaat uit een evenwicht tussen belastingen, materiaalgebruik (sterkte) en menselijke fouten.

Concepten zijn gewijzigd, de belastingen zijn verder gespecificeerd, de materialen worden nu verder uitgenut en vrijwel alle constructieve elementen worden in rekening gebracht.

Hier dient het toezicht, als onderdeel van de in het “bouwbesluit” aangewezen sterkte, een gelijke tred mee te houden en aan de huidige ontwikkelingen te worden aangepast.

Kortom: het toezicht op de uitvoering dient door VROM adequaat binnen het “bouwbesluit” geregeld te worden, want een betrouwbare uitvoering is een dwingende voorwaarde voor een verdere ontwikkeling van het Constructief Ontwerpen.



Interieur Unilever "De Brug"

foto J. Berenbak

Constructief ontwerpen.

Al met al blijft het ontwerpen een schitterend vak met veel mogelijkheden, waarbij zich steeds weer nieuwe ontwikkelingen voordoen. In 1966 had ik niet kunnen vermoeden dat het constructief ontwerp van een kantoorgebouw voor Unilever in 2002 zo industrieel zou worden aangepakt. Ik kan me ook niet voorstellen hoe dit zich verder zal ontwikkelen. Want constructief ontwerpen is spelen met mogelijkheden. Hoe breder de gereedschapskist is des te interessanter het spel. Een gedegen achtergrondkennis is nodig om de in aanmerking komende concepten op functie en uitvoering te kunnen beoordelen.

Door de toegenomen complexiteit is het wel steeds meer een gezelschapsspel geworden, wat het nog interessanter maakt om er aan mee te doen. Ik heb het spel 40 jaar lang mee mogen ontwikkelen tussen de Meesters in de uitvoering, en de Masters in de wetenschap en het onderwijs.

Het was voor mij een feest.

Ik dank U.

Het London Eye
Jaarwisseling 1999-2000

(Foto Ian Lambot)



