

Inleiding in de constructieleer  
van bouwwerken

# Kracht + vorm

J. Oosterhoff

# Colofon

tekst prof.ir. J. Oosterhoff  
eindredactie ir. C.H. van Eldik / Bouwen met Staal  
vormgeving Karel Ley / Fig.84-Reclamestudio

uitgave Bouwen met Staal  
ISBN 978-90-72830-93-7  
foto omslag woon-/werk-complex Montevideo in Rotterdam  
van Mecanoo architecten

eerste druk (2008)  
tweede druk



Bouwen met Staal  
Boerhaavelaan 40, 2713 HX Zoetermeer  
tel. (079) 3531277  
info@bouwenmetstaal.nl  
www.bouwenmetstaal.nl

---

## © *Bouwen met Staal* 2013

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten en onvolkomenheden niet uit te sluiten. De uitgever sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.

# Voorwoord

Het boek *Kracht + vorm* gaat over constructies van bouwwerken en is bestemd voor het eerste leerjaar van de opleidingen Civiele Techniek en Bouwkunde van universiteiten, hogescholen en academies van bouwkunst. De tekst heeft een inleidend karakter; het is niet meer – maar ook niet minder – dan een kennismaking met de constructies van bouwwerken en de krachtswerking erin. De ingenieur die zich met constructies bezighoudt (de constructeur) heeft twee hoofdtaken:

- Het ontwerpen van de constructie met als uitgangspunt de functie van het bouwwerk. Welke constructie past het beste bij de functie? Welke materialen kiezen we, wat is de hoofdopzet van de constructie, wat zijn de vormen en afmetingen van de samenstellende elementen en hoe zien de verbindingen er uit?
- Het via berekeningen aantonen dat de constructie zowel vormvast is als voldoende sterk en stijf.

Voor beide hoofdtaken – die overigens niet afzonderlijk worden behandeld – is dit boek bestemd. Er ligt ook geen nadruk op het constructief ontwerpen, immers: om te kunnen ontwerpen moet enige basiskennis aanwezig zijn. Dit boek reikt hiervoor het gereedschap aan. Wel wordt aandacht besteed aan het verband tussen de krachten die op en in constructies werken en de vorm die constructie-elementen daardoor hebben. Daarop is dan ook de titel van het boek gebaseerd: kracht en vorm.

Het boek is zowel geschikt voor de opleiding Civiele Techniek als die voor Bouwkunde. Het verschil ligt in de oefeningen die uit het boek kunnen worden afgeleid. Bij civiele techniek zullen er meer rekenopgaven zijn, bij bouwkunde dienen de oefeningen vooral om inzicht te krijgen in de krachtswerking in een constructie en de daaruit volgende vormen.

Belangrijk bij de opzet van het boek was om studenten te motiveren voor de constructieleer zodat ze het vak interessant vinden en er verder mee willen gaan.

Bij het samenstellen van de inhoud van *Kracht + vorm* is gestreefd naar beknoptheid. Alleen dat wat in essentie bepalend is voor het inzicht in de krachtswerking in en de vormgeving van constructies is behandeld.

Daardoor biedt dit boek een kader, waarbij docenten naar eigen inzicht en belangstelling invullingen kunnen maken met bijzondere onderwerpen. Zo kan ik mij voorstellen dat aan het onderwerp ‘windbelasting’ boeiende verhalen kunnen worden verbonden, bijvoorbeeld gebaseerd op onderzoek dat voor de nieuwe Eurocode is verricht: het verband tussen windsnelheid en windbelasting, de windsnelheden bij een recente storm en hoe deze zich over ons land hebben verdeeld, kenmerken van de zwaarste stormen of de invloed van wind op hoge gebouwen.

Ook de formuleringen zijn globaal gehouden. Veel leerstof lijdt eronder wanneer de auteur een begrip exact wil omschrijven, zodat dit de gehele betekenis er van dekt, inclusief alle uitzonderingen. Dat bevordert niet de begrijpelijkheid van de tekst. Bijvoorbeeld de omschrijving ‘draagconstructies dienen er voor om een gebouw te behoeden voor omvallen en instorten’ is weliswaar verre van volledig, maar geeft de student wel een goed beeld van de functie van draagconstructies.

Bij de oriëntatie op de inhoud van het boek waren drie publicaties van belang. Allereerst het *Basisboek Constructieleer* van H.P.M. van Abeelen, ook bedoeld voor het eerste leerjaar. Dit boek bevat een respectabele hoeveelheid kennis met veel nadruk op de bouwvoorschriften en op de berekening van constructies. De omvang en de gedetailleerdheid van de leerstof lijkt echter te veel voor een eerste leerjaar. Veel van de stof zou in volgende jaren moeten worden behandeld.

De tweede publicatie is *Understanding structures. Analysis, materials, design* van D. Seward. Dit is een aantrekkelijk boek – met veel tekeningen – waarin een goede keuze is gemaakt uit de onderwerpen die dienen om inzicht te

krijgen in de werking van krachten in constructies en in de vorm van elementen en verbindingen. Aan dit waardevolle leerboek ontbreekt echter een beeld van de context (bouwwereld en bouwwerken) waarin het construeren plaatsvindt. Ook komen complete constructies – bijvoorbeeld hallen van staal, beton of hout – in het boek nauwelijks voor.

De derde en laatste publicatie is het boek *Kracht en vorm. De draagconstructies van bouwwerken eenvoudig verklaard* dat ik in 1990 schreef voor monumentenzorgers; een geheel andere doelgroep dus. Dit boek valt op door de vele tekeningen die de tekst verduidelijken.

Deze drie inspirerende publicaties leidden tot *Kracht + vorm* met een inhoud met de volgende accenten.

- De context waarbinnen het construeren plaatsvindt is belangrijk. Hoofdstuk 1 (Inleiding) geeft een beeld van de bouwwerken en de bouwwereld. Hoofdstuk 3 (Bouwwerken en constructies) bevat een overzicht van typen, begrippen en benamingen van constructies, waarbij uitvoerige typologieën zijn vermeden. Hoofdstuk 4 (Functionele eisen) geeft een aanzet tot het denken in termen van constructief ontwerpen.
- De hoofdstukken 10 (Staalconstructies), 11 (Betonconstructies), 12 (Houtconstructies) en 13 (Steenconstructies) zijn een kennismaking met het construeren bij gebouwen in verschillende materialen. Daarbij komen zowel de elementen en hun verbindingen als de totale constructie aan de orde. Hoofdstuk 14 (Funderingen) is eveneens een introductie in een gebied waarvan ook de eerstejaars-student al iets moet weten.
- Fundamenteel is de leerstof in de hoofdstukken 2 (Materialen), met een globaal overzicht van de eigenschappen van de belangrijkste constructiematerialen, 5 (Belastingen op gebouwen), 6 (Krachten in constructies), 7 (Stabiliteit), 8 (Vormveranderingen) en 9 (Veiligheid). Voorzover relevant is al aansluiting gezocht op de nieuwe Eurocode-normen. In deze zes hoofdstukken komen de vier hoofdthema's aan de orde die bij het construeren van belang zijn:
  - Welke belastingen werken op constructies?
  - Welke inwendige krachten treden hierdoor op?

- Welke constructievormen zijn het meest passend bij bepaalde krachtswerkingen?
- Hoe wordt een constructie vormvast en voldoende stijf en sterk gemaakt?

Als voorbeelden van bouwwerken is in *Kracht + vorm* voornamelijk gekozen voor gebouwen en voor bruggen. Gebouwen, omdat daarin de constructies het meest divers zijn en bruggen, omdat het verband tussen de constructievorm en de erop werkende krachten hier het duidelijkst naar voren komt. Maar de nadruk ligt toch vooral op gebouwen. In het constructie-onderwijs vragen ze in het algemeen de meeste aandacht, omdat ze van alle bouwwerken het meest complex zijn.

Voor het eerste studiejaar beperkt de stof zich tot hallen, omdat vele hallen eenvoudig van vorm zijn en de functie ervan geen overwegende invloed heeft op het constructieve ontwerp. Anders ligt dit bij verdiepinggebouwen. Wanneer daarvan de constructies zinvol moeten worden behandeld, kan moeilijk worden vermeden om ook de technische installaties, het leidingenbeloop en de gevelkeuze daarbij te betrekken. Het maakt de achtergrond van de constructieve opzet gecompliceerd. Daarom is het minder wenselijk om verdiepingbouw al in het eerste jaar te behandelen.

Het boek bevat een beperkt aantal rekenvoorbeelden. Een constructeur moet namelijk leren omgaan met maat en getal. Het voornaamste doel van berekeningen is het geven van een beeld van de krachten die in constructies werken en van de orde van grootte ervan. De rekenvoorbeelden hebben alle een benaderend karakter om aan te geven dat een grote precisie bij het construeren (veel cijfers achter de komma) niet alleen overbodig is, maar ook de indruk wekt van een exactheid die er in werkelijkheid nooit is.

Een lastig onderwerp om te behandelen zijn de bouwtechnische voorschriften, die in normen zijn vervat. De bestaande serie constructienormen (TGB 1990) wordt uiterlijk in 2010 vervangen door een nieuwe serie Eurocode-normen. Met name in de Eurocodes komen ingewikkelde teksten en formuleringen voor. Het leek

niet zinvol de eerstejaars-student daarmee te belasten; het zou het beeld van het construeren alleen maar verduisteren. Anderzijds was het niet mogelijk de Eurocodes helemaal buiten beschouwing te laten, al was het alleen maar om er cijfers aan te ontlenen voor de globale berekeningen in het boek. Dit laatste is, wat de gebruikte getallen betreft, benaderend gedaan. Wel zijn aan de bijlagen achter in het boek enkele tabellen uit de nieuwe Eurocodes toegevoegd.

Naast de materiaalkunde is de mechanica een belangrijke bron voor het construeren. In het boek komen gegevens uit de mechanica dan ook veelvuldig voor. Daarbij is er naar gestreefd uitsluitend een aantal wetmatigheden te hanteren. De achterliggende theorie hoort thuis in het mechanica-onderwijs. Door deze wijze van behandeling wordt het mogelijk in dit boek al gegevens uit de mechanica te gebruiken die pas later in de studie aan de orde komen.

De tekst is rijkelijk voorzien van afbeeldingen, waarbij veel tekeningen. Het visuele aspect is bij het construeren belangrijk: één tekening kan meer verduidelijken dan een bladzijde tekst. Ook krijgt de construerende ingenieur veel te maken met tekenwerk. Het is dan ook zinvol al in een vroeg stadium vertrouwd te raken met visuele voorstellingen. De meeste tekeningen zijn 'met de hand' gemaakt om de relatie aan te duiden met het schetsmatig tekenen dat vooral in het ontwerp stadium een belangrijke rol speelt.

Dit boek is tot stand gekomen dankzij de medewerking van velen. Allereerst de begeleidingscommissie van docenten in het constructieonderwijs, bestaande uit ir. M.P. Horikx (Hogeschool van Amsterdam), ir. F.A.M. Soons (TU Delft), M.J. Verburg (Verburg Hoogendijk Architecten en docent Academie van Bouwkunst Arnhem) en ing. G.J. Verkerk (Hogeschool Rotterdam). Zij gaven veel opbouwende kritiek en informatie.

Nuttig was ook het contact met ingenieursbureau ABT: ir. J.G. Hulsbergen en ing. E. Smienk bekeken het hoofdstuk over funderingen; prof.ir. A. Krijgsman gaf informatie over enkele constructies en prof.ir. F. van Herwijnen (ook verbonden aan de TU Eindhoven) las het gehele manuscript nauwkeurig door en maakte veel waardevolle

opmerkingen. Prof.dr.ir. A.J.M. Jorissen (TU Eindhoven) maakte opmerkingen bij en verstrekte informatie voor het hoofdstuk over houtconstructies. Ir. H.M.G.M. Steenbergen (TNO Bouw en Ondergrond) controleerde de hoofdstukken over belastingen en veiligheid op consistentie met de Eurocode. Ine ter Borch (Archispecials.com) heeft het manuscript kritisch doorgenomen en, waar nodig, aanpassingen voorgesteld.

Tenslotte is er de uitgever, ir. C.H. van Eldik van Bouwen met Staal. Hij was mede de initiatiefnemer voor het boek, besteedde veel tijd en zorg aan de inhoud en vormgeving en was altijd stimulerend in het bereiken van een zo goed mogelijk resultaat. Tevens verzorgde hij de eind- en beeldredactie.

#### **Bij de tweede druk**

Voor de tweede druk is dankbaar gebruik gemaakt van adviezen van de docenten mevr. dr.-ing. A. Detzel (Hogeschool Rotterdam), ir. M.P. Horikx (Hogeschool van Amsterdam), ing. J.M. Kousemaker (Haagse Hogeschool), ir. Th. van Rij (TU Delft), ing. J.A.G. Slood (Avans Hogeschool Den Bosch) en ir. F.A.M. Soons (TU Delft). Daarnaast gaven dr.ir.dr. C.R. Braam (TU Delft), ir. G.J. Carree (ABT) en ir. F.P.J. van Geest (Betonvereniging) nuttige informatie.

Afgezien van korte aanvullingen en correcties zijn enkele onderwerpen toegevoegd. In hoofdstuk 2 (Materialen) is een paragraaf gewijd aan duurzaamheid met betrekking tot het milieu en de aantasting ervan (sustainability). In hoofdstuk 4 (Functionele eisen) is een schets gegeven van de vragen die opkomen bij het ontwerpen van een rivieroverbrugging. Aan hoofdstuk 9 (Veiligheid) is toegevoegd een beschouwing over brandveiligheid, terwijl paragraaf 7.7 (Tweede draagweg) naar dit hoofdstuk is overgebracht. Hoofdstuk 10 (Staalconstructies) is aangevuld met een paragraaf over over brandwerendheid. Ook hoofdstuk 11 (Betonconstructies) kreeg een paragraaf over dit onderwerp.

J. Oosterhoff  
oktober 2013





<b>8</b>	<b>Vormveranderingen</b>	<b>114</b>	<b>12</b>	<b>Houtconstructies</b>	<b>158</b>
8.1	Doorbuigingen	114	12.1	Materiaal	158
8.2	Uitrekkingen en samendrukkingen	117	12.2	Verbindingen	159
8.3	Trillingen	118	12.3	Balken en liggers	163
8.4	Temperatuurwisselingen	119	12.4	Spanten	164
8.5	Krimpen van materialen	120	12.5	Langshal in hout	168
8.6	Kruipen van materialen	120			
8.7	Zakkingen van de ondergrond	121	<b>13</b>	<b>Steenconstructies</b>	<b>170</b>
			13.1	Materiaal	170
<b>9</b>	<b>Veiligheidsfactoren</b>	<b>122</b>	13.2	Betonsteen	171
9.1	Veiligheid	122	13.3	Kalkzandsteen	172
9.2	Grenstoestanden	122	13.4	Cellen- of gasbeton	173
9.3	Brandveiligheid	125	13.5	Sterkte	173
9.4	Tweede draagweg	126			
			<b>14</b>	<b>Funderingen</b>	<b>174</b>
<b>10</b>	<b>Staalconstructies</b>	<b>128</b>	14.1	Funderingskrachten	174
10.1	Materiaal	128	14.2	Grondsoorten	174
10.2	Walsproducten	132	14.3	Grondonderzoek	177
10.3	Verbindingen	132	14.4	Fundering op staal	179
10.4	Liggers voor daken en vloeren	135	14.5	Fundering op palen	181
10.5	Spanten	139	14.6	Kruipruimten en kelders	185
10.6	Brandwerendheid	141			
10.7	Langshal in staal	142			
				<b>Literatuur</b>	<b>188</b>
<b>11</b>	<b>Betonconstructies</b>	<b>144</b>		<b>Bijlagen</b>	
11.1	Materiaal	144	A	Gewichten van materialen en constructies	190
11.2	Uitvoeringsmethoden	145	B	Opgelegde belastingen op vloeren en daken	191
11.3	Wapening	146	C	Sneeuwbelasting	193
11.4	Voorgespannen beton	147	D	Windbelasting	194
11.5	Vloeren	150	E	Doorbuigingsformules	196
11.6	Prefab balken	154	F	Hoogte van dakliggers	197
11.7	Brandwerendheid	154			
11.8	Langshal in prefab beton	155		<b>Register</b>	<b>198</b>
				<b>Illustratieverantwoording</b>	<b>200</b>