

Inleiding in de constructieleer
van bouwwerken

Kracht + vorm

Jaap Oosterhoff

Walter Spangenberg

Colofon

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

uitgave Bouwen met Staal
ISBN 978-90-75146-09-7
foto omslag Eye Filmmuseum, Amsterdam (in aanbouw)

eerste druk (2008)
tweede druk (2013)



info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl

© *Bouwen met Staal* 2023

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

In 2008 verscheen de eerste druk van het boek *Kracht + vorm*, geschreven én getekend door prof.ir. Jaap Oosterhoff, oprichter en directeur van adviesbureau ABT en hoogleraar draagconstructies aan de Technische Universiteit Delft. Een jaar na het verschijnen van de tweede druk in 2013 overleed Oosterhoff.

Het boek wordt in het hoger onderwijs in Nederland volop gebruikt. Nu tien jaar verder was het nodig het boek te actualiseren en aan te passen. Dit is gedaan door ir. Walter Spangenberg, die zijn loopbaan begon als constructeur bij ABT en ook directeur/adviseur is geweest bij ABT en holding-directeur bij Oosterhoff.

Bij de eerst druk

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 krachtswerking en constructies van bouwwerken.

Er ligt geen nadruk op het constructief ontwerpen, immers om te kunnen ontwerpen moet enige basiskennis aanwezig zijn. Dit boek reikt hiervoor het gereedschap aan. Er 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. 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.

Ook de formuleringen zijn globaal gehouden. Veel leerstof lijdt eronder wanneer de auteur een begrip exact wil omschrijven, zodat dit de gehele betekenis ervan dekt, inclusief alle uitzonderingen. Dat bevordert niet de begripelijkheid 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.

In de eerste 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 er van geen overwegende invloed op het constructieve ontwerp heeft. 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 gevel-

keuze 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. Met name in de Eurocodes komen ingewikkelde teksten en formuleringen voor. Daarnaast leek het niet zinvol om 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 ontlenu 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 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 ontwerpstadium een belangrijke rol speelt.

Jaap Oosterhoff
juni 2008

Bij de derde druk

In grote lijnen is de opzet van de eerste en tweede druk behouden gebleven. Hier en daar zijn teksten verschoven en soms ook geschrapt. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten aangehouden.

- Het karakter van het boek is behouden: een inleiding in de mechanica, en dus niet een boek over ontwerpen of ontwerpmethodieken.
- Er is zoveel mogelijk relevant beeldmateriaal behouden, met name de vele karakteristieke tekeningen. Nieuwe tekeningen zijn in een vergelijkbare stijl toegevoegd. Het visuele aspect om principes over krachtswerking duidelijk te maken zijn belangrijk.
- Het accent bij de projecten ligt op bouwconstructies met een nadruk op gebouwen en bruggen.

Voor wat betreft de inhoud zijn de volgende wijzigingen doorgevoerd.

- De inhoud is aangepast en (inmiddels) verouderde afbeeldingen vervangen.
- In de behandeling van de diverse onderwerpen zijn de logica en systematiek verbeterd.
- Aan het materiaal hout is meer aandacht besteed.
- Een hoofdstuk over duurzaam bouwen is toegevoegd en het begrip 'duurzaamheid' is verder uitgediept bij de verschillende materialen.

Hoofdstuk 1 geeft een beeld van de mogelijke constructies in bouwwerken. Hoofdstuk 2 gaat nu in op de eisen die aan bouwwerken worden gesteld. In de daarop volgende

hoofdstukken 3 t/m 9 over respectievelijk constructies van bouwwerken, materialen, belastingen, inleiding in de mechanica, stabiliteit en plaatsvastheid, vormveranderingen en stijfheid, en veiligheid wordt beknopt toegelicht hoe constructies zich gedragen onder optredende belastingen en op welke wijze krachten op een veilige wijze kunnen worden afgedragen. Hoofdstuk 10 over duurzaam bouwen is nieuw. De hoofdstukken 11 t/m 14 behandelen de meest gebruikte bouwmaterialen hout, steen, staal, beton in relatie tot constructies. Hoofdstuk 15 over funderingen sluit het boek af.

De aangepast teksten zijn van commentaar voorzien door docenten die ervaring hebben met het gebruik van dit boek: Jeroen van den Bovenkamp (Hogeschool van Amsterdam), Vincent Keijzers (Avans Hogeschool), Ellen Rutgers (Hogeschool Arnhem Nijmegen), Roel Schipper (TU Delft, Civiele Techniek) en Martijn Zegers (Hogeschool Utrecht). Bijzonder dank aan Ellen Rutgers en Vincent Keijzers voor hun zeer gedetailleerd commentaar op de conceptteksten.

Willem Klaverveld en Michiel IJskes (ABT) leverden informatie voor het hoofdstuk 10 over duurzaamheid en met name over hergebruik van gebouwen.

Tot slot dank aan Cor van Eldik (Bouwen met Staal) voor zijn eindredactie. Hij was uiterst kritisch op de inhoud en bewaakte het karakter van het boek.

Walter Spangenberg
juli 2023

Inhoud



1	Bouwwerken en constructies	8	6	Inleiding in de mechanica	68
1.1	Bouwwerken	8	6.1	Doorsnedegrootheden	68
1.2	Bouwproces	10	6.2	Samenstellen en ontbinden van krachten	70
1.3	Architect en adviseurs	12	6.3	Evenwicht van krachten	73
1.4	Voorschriften	13	6.4	Krachten en spanningen	74
2	Programma van eisen	16	6.5	Uitrekking en samendrukking	75
2.1	Zoutloods	17	6.6	Trek- en drukkrachten	76
2.2	Tribune-overkapping	18	6.7	Buiging	76
2.3	Rivieroverbrugging	20	6.8	Druk en buiging	82
3	Constructies van bouwwerken	22	6.9	Dwarskracht	84
3.1	Langshallen	23	6.10	Wringing	88
3.2	Centraalhallen	29	6.11	Knik, kip en plooi	89
3.3	Verdiepinggebouwen	30	6.12	Bogen	91
3.4	Bruggen	32	6.13	Gewelven	96
4	Materialen	42	6.14	Hangconstructies	99
4.1	Constructiematerialen	42	6.15	Liggers, vakwerkliggers en raamwerkliggers	101
4.2	Materiaaleigenschappen	44	6.16	Spanten	103
4.3	Materiaaltoepassingen	50	6.17	Statisch bepaalde en onbepaalde constructies	104
4.4	Duurzaamheid	50	7	Stabiliteit en plaatsvastheid	108
5	Belastingen	52	7.1	Basisprincipes van stabiliteit	108
5.1	Blijvende belastingen	52	7.2	Masten	116
5.2	Voorspankracht	54	7.3	Hallen	118
5.3	Veranderlijke belastingen op vloeren en daken	55	7.4	Verdiepinggebouwen	119
5.4	Puntlasten en gelijkmatig verdeelde belastingen	56	7.5	Bruggen	121
5.5	Sneeuw en regenwater	57	8	Vormverandering en stijfheid	124
5.6	Wind	58	8.1	Doorbuigingen	124
5.7	Thermische belastingen	62	8.2	Uitrekkingen en samendrukkingen	128
5.8	Gronddruk en waterdruk	62	8.3	Trillingen	129
5.9	Buitengewone belastingen	64	8.4	Temperatuurwisselingen	130
5.10	Aardbevingen	65	8.5	Krimp	131
5.11	Belasting op verkeersbruggen	66	8.6	Kruip	132
			8.7	Zakking van de ondergrond	133



9	Constructieve veiligheid	134	14	Betonconstructies	200
9.1	Veiligheidsfilosofie	134	14.1	Materiaal	200
9.2	Grenstoestanen	136	14.2	Brandwerendheid	202
9.3	Tweede draagweg	139	14.3	Duurzaamheid	203
9.4	Brandveiligheid	141	14.4	Constructie-onderdelen en producten	204
			14.5	Verbindingen en montage	213
10	Duurzaam bouwen	144	14.6	Toepassingen in de bouw	213
10.1	Benaderingen van duurzaamheid	144	15	Funderingen	218
10.2	Flexibiliteit constructie	148	15.1	Invloed locatie op de fundering	218
10.3	Circulariteit	151	15.2	Funderingskrachten	222
10.4	Hergebruik van gebouwen	153	15.3	Fundering op staal	224
11	Houtconstructies	156	15.4	Fundering op palen	226
11.1	Materiaal	156	15.5	Drijvende bouwwerken	231
11.2	Brandwerendheid	157	15.6	Bouwputten en kelders	232
11.3	Duurzaamheid	157			
11.4	Constructie-onderdelen en producten	158		Literatuur	236
11.5	Fabricage	160			
11.6	Verbindingen en montage	161		Bijlagen	
11.7	Toepassingen in de bouw	164	A	Gewichten van materialen en constructies	238
12	Steenconstructies	172	B	Opgelegde belastingen op vloeren en daken	239
12.1	Materiaal	172	C	Sneeuwbelasting	241
12.2	Brandwerendheid	173	D	Windbelasting	242
12.3	Duurzaamheid	173	E	Doorbuigingsformules	244
12.4	Constructie-onderdelen en producten	174	F	Hoogte van dakliggers en vloeren	245
12.5	Verbindingen en montage	176			
12.6	Toepassingen in de bouw	177		Illustratieverantwoording	247
13	Staalconstructies	180			
13.1	Materiaal	180			
13.2	Brandwerendheid	184			
13.3	Duurzaamheid	185			
13.4	Constructie-onderdelen en producten	186			
13.5	Fabricage	187			
13.6	Verbindingen en montage	191			
13.7	Toepassingen in de bouw	194			