



Leren van instortingen

Waarom bruggen en gebouwen
soms instorten en hoe dat is te voorkomen!

F. van Herwijnen

Colofon

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

uitgave Bouwen met Staal
ISBN 978-90-72830-84-5

omslag Twin Towers, New York

Dit boek kwam mede tot stand door financiële bijdragen van:

ABT

Betonvereniging

Centraal Beheer Achmea

KIVI NIRIA Bouw

Platform Constructieve Veiligheid

Vereniging Bouwen met Staal



Bouwen met Staal
Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
tel. (079) 3531277
fax (079) 3531278
info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl

© Bouwen met Staal 2009

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.

Ten geleide

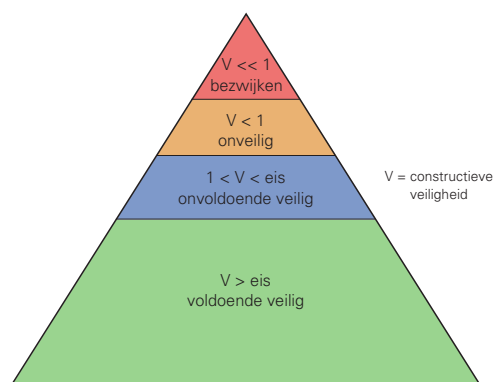
De piramide van Maslow beschrijft de prioriteit van de menselijke behoeften. Primair staan de lichamelijke behoeften zoals eten, drinken en sex. Direct daarop volgt de behoefte aan veiligheid en zekerheid. Maslov onderscheidt vervolgens diverse 'hogere' behoeften met 'zelfontplooiing' aan de top. Veiligheid – onder meer van de plekken waar we wonen en werken – is dus een basisbehoefte van de mens. In een geordende samenleving rekent de overheid het tot haar taak om hierover te waken. Dat is ook te zien in de Nederlandse bouwregelgeving. Niet voor niets gaat het eerste hoofdstuk na de administratieve bepalingen in het Bouwbesluit over de 'sterkte van de bouwconstructie'.

Leren van instortingen illustreert het belang van constructieve veiligheid. De beschreven projecten geven een indringend overzicht van wat er in de loop van de eeuwen wereldwijd op dit gebied is misgegaan. En dat is nog maar het topje van de ijsberg! Dit boek bevat slechts een bloemlezing van de instortingen die de top van de pira-

mide vormen. Naar de omvang van de lagen daaronder – waarbij de constructieve veiligheid ook niet deugt, maar waarbij de constructie (nog) niet is aangesproken op de voorgeschreven belasting – kunnen we slechts gissen.

In 2002 is de VROM-Inspectie gevormd en al vanaf de eerste dag werd de dienst hardhandig geconfronteerd met constructieve onveiligheid. De instorting van het parkeerdek in Tiel in het begin van dat jaar staat in dit boek beschreven. Een jaar later bezweken op één dag tijdens hevige regenval de daken van minstens zes gebouwen. De VROM-Inspectie rapporteerde hierover dat er in ons land jaarlijks zo'n twintig gebouwen instorten door dezelfde oorzaak, namelijk wateraccumulatie. En dat gebeurt al vele jaren. Blijkbaar leren we niets van deze instortingen! Eén van de aanbevelingen van de VROM-Inspectie was dan ook een systeem op te zetten om bouwkundige calamiteiten te registreren en om systematisch onderzoek mogelijk te maken. Gelukkig is inmiddels het ABC Meldpunt van het Platform Constructieve Veiligheid ingesteld.

Leren van instortingen beschrijft de vele activiteiten van partijen in de bouw om de constructieve veiligheid te verbeteren. Het is belangrijk dat de verschillende actoren in de bouwketen zich bewust zijn van hun verantwoordelijkheid en dat ze hun rol op een professionele wijze invullen. Bij het totstandkomen van veilige bouwwerken zijn controles onontbeerlijk. Waar wordt gewerkt, worden immers fouten gemaakt. En bouwtoezicht moet die fouten opsporen. Het gaat dan niet alleen om fouten die voortkomen uit onkunde, gebrekkige communicatie of haast. Helaas worden soms ook bewust fouten gemaakt, fraude dus. Een voorbeeld daarvan is het



Schematisch overzicht van de voorraad bouwwerken.

Japanse Aneha-schandaal, waarbij de constructeur Aneha zijn berekeningen gedurende tien jaar vervalste om lichter te kunnen construeren. Toen dit in 2005 werd ontdekt, bleek dat hij bij meer dan honderd hoogbouwprojecten was betrokken. De meeste van deze projecten moesten na herberekening worden versterkt en enkele gebouwen zijn zelfs afgebroken. Met een weerstand tegen aardbevingen die 75% onder de eis lag, bleek reparatie economisch niet mogelijk. Direct na de ontdekking van de fraude is de Japanse bouwregelgeving aangepast. Onafhankelijke, deskundige controle van constructieberekeningen en toezicht tijdens de bouw zijn nu verplicht gesteld en het kenchikushi-systeem van geregistreerde ontwerpers/constructeurs is aangescherpt. Kenchikushi's – Aneha was er één – moeten zich verplicht specialiseren en periodieke bijscholing volgen. Eind 2009 moet de laatste fase van de nieuwe Japanse wetgeving van kracht worden. Ik denk dat we, ook in ons land, niet te gemakkelijk uit moeten gaan van onderling vertrouwen.

Indien het advies van de commissie Dekker wordt overgenomen om de gemeentelijke preventieve toets op het

Bouwbesluit af te schaffen moet naar mijn mening hiervoor een wettelijke – aan minimeisen gebonden – onafhankelijke toets door derden in de plaats komen, samen met toezicht op de uitvoering.

Vanaf 2002 heb ik bij de VROM-Inspectie de ontwikkelingen op het gebied van constructieve veiligheid op de voet kunnen volgen. Er is gelukkig weer volop aandacht voor dit belangrijke onderwerp en de ontwikkelingen stemmen hoopvol. Ik juich het initiatief van Frans van Herwijnen van harte toe om deze ontwikkelingen helder in beeld te brengen. Ik hoop dat dit boek een inspiratie- en kennisbron vormt voor studenten, constructeurs, besluitvormers én andere betrokkenen in de bouw.

ir. Erik Kool
vakspecialist bouw, VROM-Inspectie

Voorwoord

Het boek *Leren van instortingen* gaat over constructieve veiligheid en over de lessen die constructeurs door de eeuwen hebben geleerd van fouten in het ontwerp of de uitvoering. Er zijn vijf belangrijke factoren aan te wijzen bij het ontwerp en de uitvoering van constructies die van invloed zijn op de constructieve veiligheid:

- kennis van mechanica en constructieleer;
- hulpmiddelen voor het maken van berekeningen;
- toepassing van nieuwe en sterkere materialen;
- communicatie en informatievoorziening;
- economische en technologische ontwikkeling.

• **Kennis van mechanica en constructieleer.** Sinds de 17e eeuw heeft de (technische) mechanica zich ontwikkeld tot een krachtige hulpwetenschap voor constructief ontwerpers voor het bepalen van de krachtwerking van constructies onder invloed van belastingen. Hiermee zijn op een analytische wijze geometrisch eenvoudige constructies – zoals liggers, platen en schalen – bestaande uit materialen met een fysisch lineair gedrag te berekenen. In de tweede helft van de 20e eeuw kwam de eindige-elementenmethode beschikbaar om ook geometrisch complexe constructies te berekenen. Tegenwoordig kan elke constructeur gebruikmaken van geavanceerde berekeningsmethoden om vooraf de krachten en vervormingen van constructies onder invloed van belastingen te bepalen en zo het gedrag van constructies nauwkeurig te voorspellen. De voorwaarde is echter wel dat niet alleen de invoer van de gegevens – zoals de geometrie, de belastingen, de materiaaleigenschappen en de modellering van de verbindingen – voor het rekenmodel correct moet zijn, maar ook de interpre-

tatie van de uitkomsten van de berekening. Vooral bij dit laatste kan het fout gaan, zeker wanneer er sprake is van een enorme hoeveelheid data als uitvoer. Gedegen kennis, inzicht en ervaring van de constructeur blijven noodzakelijk voor het foutloos interpreteren van berekeningsresultaten.

• **Hulpmiddelen voor het maken van berekeningen.** De afgelopen vijftig jaar is het aantal hulpmiddelen enorm toegenomen om een constructie door te rekenen. In het midden van de vorige eeuw maakte de constructeur zijn berekeningen nog met de hand en met de rekenliniaal: een schuifliniaal waarmee alle logaritmische bewerkingen vlug en voor de praktijk voldoende nauwkeurig konden worden uitgevoerd. Hierbij was het steeds nodig zelf een inschatting te maken van de orde van grootte van de uitkomst, omdat dit juist níet met de rekenliniaal kon worden bepaald. Het voordeel van deze manier van werken was dat de constructeur steeds alert moest blijven.

In de jaren zeventig verschenen de eerste zakrekenmachines; een elektronische calculator waarmee alle wiskundige berekeningen exact konden worden uitgevoerd. Vrij snel daarna kwam ook de programmeerbare zakrekenmachine op de markt, waarop eenvoudige programma's konden worden gedraaid. Voor bepaalde constructieve berekeningen kon de constructeur nu een programma schrijven dat de verschillende berekeningsstappen automatisch doorloopt. Dat betekende niet alleen tijdwinst bij het maken van berekeningen, maar ook minder kans op fouten.

In de jaren tachtig werd de personal computer (pc) geïntroduceerd, waarmee sneller, nauwkeuriger en gebruiksvriendelijker kon worden gewerkt. Ook was de uitvoer van berekeningen nu grafisch weer te geven. De ontwikkelin-

gen in de pc-technologie zijn daarna snel gegaan. De geheugenruimte werd steeds groter, de kloksnelheid van de processors nam toe en er kwam steeds meer specifieke software voor constructieberekeningen beschikbaar. Door de snelheid van rekenen is het nu mogelijk voor bepaalde constructies meerdere varianten door te rekenen om de constructie te optimaliseren. Ook is het mogelijk om constructies met de computer te visualiseren, zowel de geometrie als de spanningen en vervormingen onder invloed van diverse belastingen. Dit biedt de ontwerper de mogelijkheid de uitvoer van berekeningen beter te toetsen.

- **Gebruik van nieuwe en sterkere materialen.** Van de gangbare constructiematerialen beton, staal, steen en hout kennen ontwerpers het gedrag en de fysische en mechanische materiaaleigenschappen. Dat is minder het geval bij nieuwe en steeds sterkere materiaalsoorten. De betonsoorten voor traditionele betonconstructies variëren van B25 tot B45. Op dit moment is het al mogelijk hogesterktebeton (B65) of zelfs zeerhogesterktebeton (B200) te produceren, waarbij het getal de kubusdruksterkte van het beton in N/mm^2 aangeeft. Voor staalconstructies worden traditioneel de soorten S235 en S355 gebruikt, waarbij het getal de vloeigrens in N/mm^2 aangeeft. Op dit moment worden er voor de bouw al soorten gefabriceerd met een vloeigrens van 690 tot 1100 N/mm^2 , dat wil zeggen S690 tot S1100.

Een hogere sterkte gaat altijd gepaard met een afname van de taaiheid, waarmee bij het construeren rekening moet worden gehouden. Een hogere sterkte betekent ook kleinere afmetingen van de constructie-elementen, waarvoor nieuwe verbindingstechnieken en rekenregels moeten worden ontwikkeld. De inzet van nieuwe en sterkere materialen vraagt om veel onderzoek om deze materialen op een constructief verantwoorde manier te kunnen gebruiken.

- **Communicatie en Informatievoorziening.** Het vastleggen van het constructieve ontwerp ging in de jaren zeventig van de vorige eeuw nog met de hand door het maken van constructietekeningen op calques of folies. Hierop werd – met een Rotringpen – op schaal een tweedimensionale projectie van de constructie getekend: plattegronden,

aanzichten en doorsneden, aangevuld met details. Deze werkwijze was niet alleen tijdrovend en daarmee duur, het was ook lastig om tekeningen te wijzigen. Van de originele tekeningen maakte het ontwerp bureau lichtdrukken om aan de verschillende partijen te verstrekken.

De introductie van de computer maakte het mogelijk om constructietekeningen digitaal te vervaardigen via 'computer aided design' (cad). Hiermee kon sneller, goedkoper en nauwkeuriger worden getekend en ook het aanbrengen van wijzigingen was een stuk eenvoudiger. Vooral bij repeeterende constructievormen kon een grote tijdswinst worden bereikt. Van de digitale tekening werden 'plots' gemaakt die aan de partijen werden verstrekt. Al snel werd het mogelijk constructies niet alleen twee-, maar ook driedimensionaal te tekenen, waardoor de controle minder afhankelijk werd van het ruimtelijke inzicht van de ontwerper. Een laatste ontwikkeling is de combinatie van rekenen en tekenen. Hierbij wordt een driedimensionaal geometrisch model van de constructie gebruikt als invoer van een rekenprogramma, waardoor fouten in de invoer worden voorkomen.

Actueel is nu om met verschillende disciplines te werken aan één integraal computermodel, waarmee het gebouw ruimtelijk wordt vastgelegd. In feite wordt een gebouw(constructie) 'virtueel gebouwd' in de computer vóórdat de bouw op de bouwplaats daadwerkelijk van start gaat. Dit biedt nieuwe mogelijkheden om het ontwerp vooraf volledig te toetsen.

Naast de informatievoorziening speelt de communicatie ook een belangrijke rol. Denk bijvoorbeeld aan de communicatie tussen ontwerpende, uitvoerende en uitwerkende partijen. Uit de voorbeelden in dit boek blijkt dat het op dit punt nog regelmatig fout gaat, met zelfs instortingen als gevolg.

- **Economische en technologische ontwikkeling.** Er bestaat een duidelijke relatie tussen constructieve veiligheid en de economische en technologische ontwikkeling van een land. Een sterk ontwikkelde maatschappij beschikt niet alleen over voldoende gekwalificeerde mensen voor het ontwerp en de uitvoering van bouwwerken, maar heeft ook voldoende financiële draagkracht om eisen te stellen aan de veiligheid van bouwwerken. Het verlagen van de

kans op bezwijken betekent immers een verhoging van de bouwkosten! Economische en technologische ontwikkeling bieden dus de mogelijkheid om constructief veiliger te bouwen. Een goed voorbeeld daarvan zijn sterke economieën zoals Japan en de Verenigde Staten, waar strenge eisen worden gesteld aan de constructies van bouwwerken in aardbevingsgebieden.

De zesentwintig geselecteerde voorbeelden van (bijna) ingestorte gebouwen en bruggen in dit boek bestrijken een periode van bijna achthonderd jaar. Uit de lijst van instortingen van bruggen in bijlage A valt op te maken dat het aantal instortingen per tijdseenheid zeker niet afneemt. Deze constatering roept de vraag op waarom de technologische ontwikkeling van de laatste decennia niet leidt tot een vergroting van de constructieve veiligheid en de kans op instortingen afneemt. Allereerst is construeren (ontwerpen en uitvoeren) mensenwerk en menselijke fouten zijn nooit volledig uit te sluiten.

Verder geldt dat constructieve veiligheid ook niet vanzelfsprekend is (zie bijlage B). Alle partijen in de bouw moeten hiervan doordrongen zijn en het bouwproces zodanig inrichten dat de constructieve veiligheid voldoende is geborgd. Maar bovenal is het belangrijk lering te trekken uit incidenten, waardoor herhaling in de toekomst kan worden voorkomen. Dat betekent een open communicatie over incidenten – gebaseerd op feiten en omstandigheden – zonder dat de schuldvraag centraal staat. Dat is het doel van deze publicatie.

Het boek *Leren van instortingen* is tot stand gekomen door het doornemen van veel – soms moeilijk te achterhalen – literatuur, waar in de betreffende hoofdstukken naar wordt verwezen. Daarnaast zijn vele gesprekken gevoerd met collega's in de bouwwereld om gegevens boven water te krijgen en gedachten te spiegelen. Twee collega's bij ABT wil ik hierbij met name noemen: ir. J.G. Hulsbergen voor zijn inbreng bij het beschrijven van de instorting van het parkeerdek bij hotel Van der Valk in Tiel (hoofdstuk 25), waar hij in opdracht van de gemeente Tiel onderzoek deed naar de oorzaak, én ir. H.B. Monster voor zijn kritische reflectie van de instorting van de balkons van woongebouw Patio Sevilla in Maastricht (hoofdstuk 26).

Daarnaast bedank ik de uitgever, ir. C.H. van Eldik van Bouwen met Staal, voor zijn bereidheid dit boek uit te geven en de eind- en beeldredactie te verzorgen. Hij besteedde veel tijd en zorg aan de inhoud en vormgeving, wat geleid heeft tot dit resultaat.

Tot slot dank aan de bedrijven en organisaties die met hun financiële bijdrage de uitgave van dit boek mogelijk hebben gemaakt.

Frans van Herwijnen
oktober 2009

Inhoud



1 Instorten van bouwwerken	10
1.1 Kennis van het construeren	10
1.2 Falen van bouwwerken	11
1.3 Waarom storten bouwwerken in?	12
1.3.1 Ouderdom	12
1.3.2 Natuurlijke oorzaken	14
1.3.3 Menselijk ingrijpen	22
1.3.4 Constructieve fouten	25
1.4 Hoeveel bouwwerken zijn ingestort?	28
1.5 Hoe reageren we op instortingen?	28
2 Constructieve veiligheid in Nederland	32
2.1 Constructeursplatform	33
2.2 CUR-commissie 'Leren van instortingen!'	33
2.3 VROM-Inspectie	34
2.4 Onderzoeksraad voor Veiligheid	35
2.5 Plan van aanpak constructieve veiligheid	36
2.6 Hoofdconstructeur	36
2.7 Gedragscode constructieve veiligheid	38
2.8 Compendium aanpak constructieve veiligheid	38
2.9 Platform Constructieve Veiligheid	40
3 Scheve toren van Pisa (Italië) • 1178	42
4 Kathedraal van Beauvais (Frankrijk) • 1284	48
5 Dee Bridge, Chester (Engeland) • 1847	52
6 Tay Bridge, Dundee (Schotland) • 1879	56
7 Birsbrücke, Münchenstein (Zwitserland) • 1891	62
8 Quebec Bridge (Canada) • 1907 en 1916	66
9 Tacoma Narrows Bridge (Verenigde Staten) • 1940	70
10 Second Narrows Bridge, Vancouver (Canada) • 1958	76



11	Point Pleasant Bridge (Verenigde Staten) • 1967	80
12	Woontoren Ronan Point, Londen (Engeland) • 1968	84
13	Hartford Civic Center Arena (Verenigde Staten) • 1978	90
14	Kemper Arena, Kansas City (Verenigde Staten) • 1979	94
15	Congreshal, Berlijn (Duitsland) • 1980	98
16	Hotel Hyatt Regency, Kansas City (Verenigde Staten) • 1981	104
17	Schoharie Creek Bridge, Fort Hunter (Verenigde Staten) • 1987	108
18	Koror-Babelthuap Bridge (Palau) • 1996	112
19	Millennium Bridge, Londen (Engeland) • 2000	118
20	Twin Towers, New York (Verenigde Staten) • 2001	124
21	Terminal 2E luchthaven Paris-Charles de Gaulle, Roissy-en-France (Frankrijk) • 2004	134
22	Overdekte kunstijsbaan, Bad Reichenhall (Duitsland) • 2006	138
23	Saint Anthony Falls Bridge, Minneapolis (Verenigde Staten) • 2007	142
24	Theater Schouwburg Het Park, Hoorn (Nederland) • 2001	146
25	Parkeerdek hotel Van der Valk, Tiel (Nederland) • 2002	150
26	Balkons woongebouw Patio Sevilla, Maastricht (Nederland) • 2003	154
27	Galerij studentenwoningen, Lent (Nederland) • 2005	162
28	Werftrap Oudegracht, Utrecht (Nederland) • 2006	166

bijlagen

A	Instortingen van bruggen (1836-2008)	170
B	Veilige bouwwerken zijn niet vanzelfsprekend!	176

	Illustratieverantwoording	180
--	---------------------------	-----