

Staalbouw : van handwerk naar bandwerk?

Citation for published version (APA):

van Neste, A. J. (1979). *Staalbouw : van handwerk naar bandwerk?* Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1979

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

STAALBOUW

VAN HANDWERK NAAR BANDWERK?

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
gewoon hoogleraar in de Staalbouw aan de
Afdeling der Bouwkunde van de Technische Hogeschool te
Eindhoven op vrijdag 23 februari 1979, door Ir. A.J. van Neste

*Any material, wether natural or artificial,
has its special properties which one must
know before one can work with it.
New materials and new methods of construction
are not necessarily superior.*

What matters is the way they are handled.

The value of a material depends on what we make of it.

Mies van der Rohe

*Mijne heren leden van de Hogeschoolraad,
mijnheer de Rector Magnificus,
mijne heren leden van het College van Bestuur,
dames en heren hoogleraren, lectoren en medewerkers van
deze Technische Hogeschool,
dames en heren studenten
en voorts u allen die door uw aanwezigheid blijk geeft
van uw belangstelling,*

Zeer gewaardeerde toehoorders,

In 1872 kwam een merkwaardig gebouw gereed. Speciaal voor de staalkonstruuteur een merkwaardig gebouw. Het gietijzer, dat als toepassing in de bouw juist zijn hoogtepunt had beleefd, moest langzamerhand de alleenheerschappij gaan delen met het taaiere welijzer. Dank zij de verbeteringen van het puddelproces door De Corte was dit welijzer in grotere hoeveelheden op de markt gekomen. En wat belangrijk is voor de konstruuteur: in de vorm van gewalste profielen die op geschikte wijze door klinken tot grotere dragende elementen waren op te bouwen. Bij dit gebouw nu is voor het eerst uit deze profielen een skelet opgebouwd dat geheel zelfstandig in staat was om vloeren en wanden te dragen.

Dit gebouw is de oude chocoladefabriek van Ménier, even ten oosten van Parijs. Door de situering boven de rivier de Marne kan dit gebouw tegelijkertijd functioneren als waterkrachtcentrale en als fabriek. Na ruim 100 jaar is dit gebouw nog in goede staat en zelfs in bedrijf en kan het erop bogen de voorloper te zijn geweest voor de moderne staalbouw. Dit woord staalbouw was toen nog niet in gebruik en men sprak van ijzeren konstrukties. In deze tijd begon wel een nieuw materiaal op de markt te komen als gevolg van de uitvinding van Bessemer in 1855, enkele jaren later gevolgd door die van Siemens-Martin en Thomas. In plaats van de deegachtige vorm waarin het welijzer werd bereid, werd het hiermee mogelijk het produkt in vloeibare vorm te winnen.

Dit nieuwe vloeistaal begon het gebruikelijke welijzer te vervangen en het woord staalbouw begon langzamerhand zijn intrede te doen.

Zoals bij zovele nieuwigheden verliep deze invoering van het vloeistaal niet zonder problemen. In 1879 moest de Nederlandse regering de toepassing van vloeistaal bij de bouw van enkele bruggen verbieden en zelfs de reeds aangebrachte liggers laten vervangen door het vertrouwde welijzer. De inhomogeniteit van het materiaal maakte de betrouwbaarheid problematisch. Maar verbeteringen van het proces en de controle erop konden het vertrouwen al snel doen groeien en de opbloei van de staal-

konstrukties begon vele handen werk te geven. Inderdaad vele handen, want bij het vervaardigen van een staalkonstruktie vervulde het handwerk nog een grote rol. De fabricage vergede nog circa 100 arbeidsuren per ton materiaal.

In september jl. werd door de Association Internationale des Ponts et Charpentes een symposium gehouden, o.a. gewijd aan de ontwikkeling van de produktiemethoden van de staalkonstrukties.¹⁾ Men kon hier beluisteren dat bij een moderne, z.g. 'in lijn produktie' van staalkonstrukties het aantal arbeidsuren zelfs teruggebracht kon worden tot minder dan 10 arbeidsuren per ton materiaal.

Het zal duidelijk zijn dat hierbij niet 10 maal zo hard gewerkt wordt, maar dat de automatische produktie met behulp van pons- en magnetische banden het handwerk heeft verdrongen. Deze numerieke besturing heeft hier de taak van de mens overgenomen en verdergaande mogelijkheden door invoering van de 'chips' dienen zich reeds aan.

Tussen de genoemde mijlpalen ligt een circa 100-jarige ontwikkeling. Niet alleen op het gebied van de werkplaatstechnieken heeft deze zich voltrokken. Ook op staalbouwkundig, konstruktief terrein waren er veel veranderingen die een rationalisatie mogelijk maakten.

Enkele facetten hieruit wil ik thans wat nader belichten.

Hoewel de economie zeker niet uit het oog verloren werd, zien wij als hoofddaccent in de periode tot 1950 de vraagstelling: hoe kunnen wij een brug of andere staalkonstruktie goed en betrouwbaar konstrueren? Konkurrentie van andere bouwmaterialen had de staalbouw nog nauwelijks te duchten. In de latere periode lag de vraagstelling meer bij het probleem: hoe kunnen wij een goede, betrouwbare staalkonstruktie economisch konstrueren en fabriceren?

De nieuwe techniek van het elektrisch lassen, die opkwam toen omstreeks 1920 de beklede elektrode was uitgevonden, bracht talloze problemen naar voren die om een oplossing vroegen. In 1936 werd de staalbouwwereld opgeschrikt door de knal waarmee in Berlijn een zware, gelaste ligger van het spoorviaduct Tiergarten brak. Ook dicht bij huis volgden deze knallen, als ik denk aan de bruggen over het Albertkanaal. Het spook van de brosse breuk, hoewel niet geheel onbekend, bleek met het lassen in de bruggenbouw op onverwachte momenten toe te slaan: het verschijnsel waarbij een staalkonstruktie als glas bleek te kunnen breken, zelfs indien zij was vervaardigd van een staal dat volgens de bekende trek- en buigproef als zeer taai beoordeeld kon worden.²⁾ Het inzicht groeide dat een combinatie van factoren hierbij in het spel was. Men leerde enerzijds dat het materiaal ook blijk moest geven van zijn kerftaaiheid, van zijn scheurstoppend vermogen. Anderzijds leerde men

dat de konstruktie verbeterd kon worden door een grote zorgvuldigheid aan de dag te leggen ter vermindering van discontinuïteiten, van kerven door fouten bij het lassen, van plaatselijke hardingsverschijnselen door te snelle afkoeling. Een grote mate van respect is dan ook op zijn plaats voor de zorg waarmee de bouwers van de eerste gelaste bruggen het laswerk omringden. Ik denk hierbij dan bijvoorbeeld aan het viaduct IJsselmonde in Rotterdam, dat in de jaren 1938 werd gebouwd en waarbij maar liefst 80 mm dikke platen op de bouwplaats aan elkaar werden gelast.

Niet de dynamische belasting van deze konstrukties was de primaire oorzaak van de breuk. Zelfs was het zo dat verschillende van deze bruggen braken zonder enige belasting door het verkeer. Ook min of meer statisch belaste konstrukties zoals opslagtanks vielen ten offer onder het vertonen van meterslange, glasachtige scheuren. In het zoeken naar inzicht in het gedrag van het staal bij statische belasting bleek de langzame buigproef van Van der Veen enkele jaren na de oorlog een belangrijke bijdrage te leveren.')

De staalskeletten zoals die in de bouwpraktijk in steeds grotere aantallen werden toegepast, vertoonden weinig problemen. Toepassing van speciale kerftaai materialen was hierbij dan ook niet gebruikelijk en om economische redenen ook verre van aantrekkelijk. Toch speelde dit probleem wel op de achtergrond bij een ontwikkeling die reeds jaren gaande was.

Een ontwikkeling die later een belangrijke fase zou blijken te zijn op de weg naar meer rationele konstrukties. Deze ontwikkeling werd in feite ingeluid in 1917 met de intrede van Kist, 'Leidt de sterkteberekening, die uitgaat van de evenredigheid van kracht en vormverandering, tot een goede constructie van ijzeren bruggen en gebouwen'?)

Uit deze oratie citeer ik het volgende:

– 'De taaiheid van het ijzer, d.i. het optreden van een groote vormverandering eer het tot een breuk komt, zou men wel in rekening kunnen brengen. De berekening wordt zelfs zeer eenvoudig wanneer men eenerzijds de geringe vormverandering, die optreedt voordat de vloeigrens bereikt is, verwaarloost tegenover de groote vormverandering daarna en anderzijds het verder oplopen van de spanning als de vloeigrens overschreden is. Aldus beschouwd zou men het ijzer een ideaal taai materiaal kunnen noemen en krijgt men, voordat het tot een breuk komt, steeds de meest gunstige verdeling van de kracht. De groote vormverandering, die het bouwwerk ineens doet zakken, krijgt men pas als de deelen die kunnen samenwerken tot de vloeigrens – dus gelijk en tot het maximum – belast worden.

Welnu, men berekene bij welke belasting dat is en late veiligheidshalve een kleinere belasting toe' – aldus Kist.

Tot die tijd had Kist de gelaste konstrukties nog niet in zijn beschouwingen betrokken. En juist hiervoor was deze filosofie zo belangrijk. Er bleven nog lange tijd belangrijke vraagpunten openstaan. In hoeverre was die taaiheid waarvan hij spreekt ook in de praktische konstrukties aanwezig, waarbij de gelaste konstrukties niet uitgesloten kunnen worden. In hoeverre leidt de plastische vervorming een brosse breuk in en is in dit verband de vervormingskapaciteit wel voldoende? Het is niet verwonderlijk dat het ruim 40 jaar heeft moeten duren voordat de door Kist aangekondigde plasticiteitsleer tot praktische ontwikkeling kon komen.

Deze problemen werden nog eens benadrukt door Witteveen, die in 1976 in zijn intreedere stelde: - 'Voorwaarde is een taai materiaalgedrag en een taai constructiegedrag. Het laatste begrip komen wij bij Kist nog niet tegen - ', aldus Witteveen.⁵⁾

Welnu, wat het materiaalgedrag betreft vond er omstreeks 1960 een omwenteling plaats in de staalfabricage. Ook de staalkwaliteiten, die in het algemeen via het konvertorproces werden gefabriceerd, begonnen de nodige zekerheid tegen de neiging tot bros breken te geven, dank zij het blazen met door zuurstof aangerijkte lucht of later alleen met zuivere zuurstof. Een omwenteling die naast de beoogde commerciële voordelen ook aan de normale staalsoorten zoals die in de bouwkundige gelaste konstrukties worden gebruikt, voldoende kerftaaiheid en lasbaarheid gaf.

Dat aan de tweede voorwaarde van een taai konstruktiegedrag kon worden voldaan bewezen o.a. de vele proeven die vooral met de knooppuntverbindingen werden genomen bij TNO-IBBC en in het Stevin Laboratorium van de Technische Hogeschool Delft. Dit onderzoek werd verricht in nauwe samenwerking met de commissies TC3-Plasticiteit en TC14-Verbindingen, beide commissies van het Staalbouwkundig Genootschap.⁶⁾ en⁷⁾

De weg lag daarna dan ook vrij voor algemene toepassing van deze plasticiteitstheorie die sinds 1970 in de TGB-Staal, de Technische Grondslagen voor de Berekening van Bouwkonstrukties, als volwaardige berekeningsmethode is aanvaard.

Waarom zijn de gevolgen hiervan zo belangrijk?

Omdat de berekening vereenvoudigd werd?

Omdat de grens van bezwijken nauwkeuriger kon worden bepaald?

Omdat hierdoor een materiaalbesparing wordt bereikt?

Zeker, maar vooral het feit dat de vele schotjes, waardoor het klassieke gelaste staalskelet werd gekenmerkt, drastisch konden worden beperkt. En juist dit schotje is een element in de konstruktie dat niet meer past bij de moderne produktiemethoden, waarin de automatische zaag-boorstraat zo'n belangrijke rol begint te spelen.

Bij deze ontwikkelingen mogen we niet voorbijgaan aan het feit dat de boutverbinding een enorme kwaliteitsverbetering heeft ondergaan. De oude bekende zwarte bout verdween van het toneel en de invoering van de z.g. 8.8-bout, vervaardigd van een materiaal met een vloeigrens die ruim 150% hoger ligt, werd algemeen.

De weg naar eenvoudige verbindingen, geschikt voor standaardisatie, ligt daarmee vrij. Een rationalisatie die niet de gehele constructie treft, maar slechts de details. De grote mate van flexibiliteit om de draagconstructie aan te passen aan de visie van de architect blijft daarmee behouden.

Bij de rationalisering van de staalkonstrukties speelt nog een andere factor een grote rol. Staal kan korroderen of, wat populairder gezegd, kan roesten. Het oppervlak moet daarom meestal worden gekonserveerd. In de loop der jaren zijn belangrijke vorderingen gemaakt op het gebied van de conservering en de mechanisering hiervan, zoals verwijdering van de walshuid d.m.v. de werpstraler en sneldrogende verfsystemen, aangebracht via rationele methoden. Hierdoor werd een aanpassing aan de voortschrijdende mechanisatie mogelijk, hoewel echter het handwerk nog niet gemist kan worden. Juist nu het aantal arbeidsuren nodig voor de fabricage van de constructie, relatief dalende is, wordt het aandeel van de werkzaamheden t.b.v. de conservering groter. Ik wil niet ingaan op de technieken van de conservering, maar thans dit probleem eens van een andere kant benaderen.

Wat gebeurt er wanneer we geen conservering toepassen? Het 'laat maar roesten principe' zult u wellicht zeggen. De mate en wijze van afroesten zijn dan van belang. Twee kanten staan dan tegenover elkaar. Vanuit de materiaalkant gezien de korrosieweerstand, vanuit het milieu gezien de korrosiebelasting.

Om de mate van korrosie te bepalen is men reeds vele jaren geleden begonnen proefplaten in de buitenlucht op te stellen. Al spoedig, aanvangende omstreeks 1900, bleek de roestsnelheid afhankelijk te zijn van de aanwezigheid van elementen die veelal als verontreiniging in het staal aanwezig waren, zoals kleine hoeveelheden koper, fosfor, nikkel en chroom. Door bewust gebruik te maken van de aldus verkregen kennis kon men de z.g. weervaste stalen op de markt brengen, in feite normale stalen waarvan de korrosieweerstand is opgevoerd. Een probleem bij deze onderzoeken is dat de roestsnelheid niet van het begin af konstant is, maar een dalende tendens vertoont waarbij zich pas na enkele jaren een roestsnelheid instelt die tijdens de verdere levensduur tamelijk konstant blijft. Tijdsperiodes van circa 10 jaar zijn dan nodig om betrouwbare conclusies te trekken t.a.v. het te verwachten gedrag in de komende 50 jaar.

Als eerste van deze weervaste stalen verscheen omstreeks 1933 het bekende Cor-Ten staal op de markt. Het duurde echter tot 1960 voor de eerste toepassing in de bouw plaats vond, n.l. bij het John Deere gebouw in Illinois, Verenigde Staten, een ontwerp van de architect John Dinkeloo die voor deze toepassing in 1965 een hoge onderscheiding ontving van het American Institute of Architects. De typisch donker roodbruine kleur van de roestprodukten op dit materiaal, ook wel patina genoemd, bleek het vooral in een groene omgeving goed te doen en de architect wist het typische karakter van het materiaal in zijn bouwwerk tot uiting te brengen.

Vanaf dit ogenblik begon de toepassing van de weervaste stalen in de bouw snel op te komen. Het idee begon zelfs post te vatten dat het roestproces na enkele jaren geheel zou stoppen. De teleurstellingen bleven dan ook niet uit.

Deze ontwikkeling was niet alleen te snel gegaan maar het onderzoek naar de andere kant van de zaak, naar de invloed van verschillen in de korrosiebelasting was achtergebleven. Wel waren de proeven gedaan in verschillende milieus, landelijk, industrieel, maritiem e.d. Maar de mate van bevochtiging van het oppervlak, de basisfactor van de korrosiebelasting, te zamen met de aanwezigheid van SO_2 -en Cl -ionen waren hiermee niet voldoende vastgelegd. De tegenslagen in de toepassingen van het weervast staal zijn dan ook in hoofdzaak terug te voeren tot een te hoge vochtbelasting. Bij overschrijding van een bepaalde grens ziet men de afroesting van gelijkmatig korrelig overgaan in een bladdervormige, waarbij het fraaie gedrag van het weervast staal verdwijnt. Klassificatie van de korrosiebelasting zal dan ook nodig zijn om met behulp hiervan betrouwbare voorspellingen te kunnen doen.

Bij het ontwerp van een draagconstructie is het gebruikelijk om met behulp van richtlijnen t.a.v. te verwachten belastingen door berekening een voorspelling te doen over de draagkracht van de constructie, eventueel gedurende een vereiste levensduur wanneer dynamische verschijnselen meespelen. Ik verwacht dat een overeenkomstige aanpak ook bij het korrosiegedrag van konstruktie staal mogelijk en zinvol zal zijn. Hierbij is niet alleen het belang van de toepassing van de weervaste stalen aan de orde. Op vele plaatsen, ik denk bijvoorbeeld aan staalconstructies binnen normale gebouwen, is de korrosiebelasting zodanig gering dat een normaal staal evengoed onbehandeld toegepast kan worden. Dit uiteraard alleen indien het staaloppervlak niet in het zicht komt of indien er geen esthetische bezwaren zijn. Ook voor de bepaling van het gedrag van diverse lichtere tot zwaarste korrosiebehandelingen zou een dergelijke aanpak kunnen worden toegepast. Activiteiten in deze richting zijn in enkele landen reeds gaande. Veel en vooral systematisch onderzoek in deze richting zal nog nodig zijn.

Een verdere gunstige factor zou zijn dat de invoering van het begrip vochtbelasting meer aandacht bij de constructeur zal opwekken t.a.v. het vermijden van koudebruggen e.d. Bij zijn intrede in 1969 wees De Lange op het gebruikelijke negeren van het effect van koudebruggen en de noodzaak bouwfysisch met kennis van zaken te detailleren. Hoewel in dit opzicht veel is verbeterd, zou ik het belang hiervan in dit verband nog eens willen onderstrepen.

Ik denk hierbij nu vooral aan het korrosiegedrag van konstruktiedelen die binnen de luchtspouw van de buitenwand aan het oog onttrokken zijn. Kan men door toepassing van het verzinken een grote mate van on-gevoeligheid tegen permanente bevochtiging door condens bereiken, vermindering van deze bevochtiging door toepassing van bouwfysische inzichten zal in het algemeen een goedkope en duurzame oplossing geven.

Een gelijksoortige situatie doet zich voor bij de toepassing van buizen en kokervormige profielen, een toepassing die vooral de laatste 20 jaar sterk in opkomst is in de staalbouw. Voor buizen en kokers van geringe afmetingen is het mogelijk deze hermetisch dicht te lassen, waardoor bij gebrek aan zuurstof een begin van korrosie al gauw gestopt wordt. Maar, wat betekent een miniscuul klein lekje? Een porie in de las bijvoorbeeld? Een bui regen doet de lucht in de buis afkoelen, de lucht krimpt en zuigt het overlopende regenwater naar binnen. Dit proces herhaalt zich en de buis vult zich met water. Een vorstperiode doet de rest: het water befrist en de buis barst open, zoals in de praktijk reeds meer-malen bleek.

Bij grote kokers komt nog een ander probleem om de hoek kijken. Niet lang geleden bleek mij dat metershoge kokerliggers luchtdicht werden gesloten op grond van een advies van een materiaaldeskundige, die terecht had gesteld dat in dat geval geen korrosie van betekenis kan optreden.

Maar wat betekent dit voor de constructeur?

De luchtdruk pleegt te schommelen tussen 965 en 1035 millibar. De temperatuur in een koker tussen -10°C en $+50^{\circ}\text{C}$ of nog meer. Dit betekent dat de constructeur dan wel gedwongen is te rekenen op een belasting-variëatie op de wanden van de kokerligger in de orde van 2000 à 3000 kg/m^2 ; een belasting die het 10-voudige is van de nuttige belasting die een gewone vloer te dragen heeft.

De relatief dunne platen van de kokerwanden zijn daar uiteraard niet op te konstrueren, althans niet binnen redelijke economische marges. Hermetisch afsluiten is dus slechts voor een gering aantal kleinere kokervormige konstrukties een geschikte oplossing, waarbij het kostbare 'afper-sen' voor konstrukties in de buitenlucht dan in het algemeen een voor-waarde zal moeten zijn.

Maar wat dan te doen?

Bij de 1100 m lange brug over de Kleine Belt in Denemarken werd een oplossing gevonden door de lucht te drogen tot beneden 40% relatieve vochtigheid. Aggregaten met een totale capaciteit van 50.000 m³ lucht per uur en in staat om per etmaal 2,8 m³ water uit de lucht te verwijderen werden binnen het kokervormige bruglichaam geïnstalleerd. Ondanks de grote installatie berekent men een gunstig economisch resultaat. Hoe feilloos deze installatie wellicht ook is, toch deinst een staalbouwer voor de toepassing van een dergelijk apparaat wel wat terug. De absolute zekerheid t.a.v. het voorkomen van corrosie is hiermee misschien wel bereikt, maar konstrueren we dan niet beter dan goed?

Onderzoek op dit gebied in Nederland tracht dit vraagstuk van de andere kant te benaderen en startte met de vragen:

Is het mogelijk een aanvaardbare oplossing te vinden zonder apparaat en zonder of met een minimale korrosiewering?

Wat gebeurt indien uitsluitend een ademgat wordt aangebracht? Blijft de koker dan inwendig droog?

Welk effect hebben chloor en zwavel in de lucht?

Vele vragen, maar de resultaten zijn bemoedigend en geven thans goede grond voor uitgebreider, systematisch onderzoek. Uiteraard gaat het hier om een situatie binnen het duistere inwendige van deze konstrukties zodat esthetische factoren geen rol spelen. Het weervast staal heeft ons vertrouwd gemaakt met het idee: roest mag, maar niet te veel!

Helaas vergt dit onderzoek veel tijd. Een onderzoek echter waarvan het belang niet onderschat moet worden in het proces van de rationalisering van de staalbouw.

Gezien mijn leeropdracht, o.a. inhoudende het verrichten van onderzoek op het gebied van de lichte draagkonstrukties, wil ik in deze beschouwingen niet voorbijgaan aan het belangrijke deelgebied van de dunne-plaatkonstrukties, de z.g. koudgerolde profielen. Een gebied ook waarbij de automatisering van de fabricage een enorme rol gespeeld heeft in de snelgroeïende markt die hiermee thans bestreken wordt.

Aanvankelijk ontmoette de toepassing van plaat van minder dan 1 mm dikte in de bouw weinig vertrouwen. Het korrosievraagstuk speelde ook hierbij een belangrijke rol, immers wat is te verwachten van de levensduur van een vloer, met als dragend element een zo dunne plaat? Reserve voor roestverschijnselen is nauwelijks aanwezig.

De bouw van de Amerikaanse wolkenkrabbers was een sterke stimulans bij de toepassing van konstrukties met een gering gewicht en werd een van de voortrekkers van het gebruik van de koudgevormde profielen. Al snel groeide het besef dat binnen het gebouw voor corrosie niet gevreesd behoeft te worden daar het oppervlak van staal eenvoudig droog blijft.

In Nederland werd de invoering van de dunne-plaatkonstrukties, kort na 1945, met gemengde gevoelens ontvangen. De staalkonstrakteur achtte 4 mm wel de minimumdikte die hij in een dragende konstruktie kon toepassen.

Langzaam groeide ook hier het vertrouwen, vooral toen dit gesteund werd door de ontwikkeling van de automatische technieken waarbij een organische coating op een verzinkte staalplaat wordt aangebracht. Voor de toepassing in de buitenlucht begon hiermee de doorbraak en de ruime keuze in kleurgeving die daardoor aan de architect kon worden geboden, bleek een enorme stimulans. Het toepassingsgebied strekt zich thans uit over de gehele bouw, van de bouw van loodsen, woningen, sporthallen, bedrijfshallen en kantoren tot de bouw van energiecentrales toe.

Naast de aanvankelijke aarzeling om vertrouwen te stellen in de duurzaamheid kwam het probleem van de berekening die volgens een geheel andere filosofie moest worden aangepakt. De vliegtuigbouw was hiermee reeds voorgegaan en men was daar al lang gewend aan het toepassen van plaatvormige draagkonstrukties die in het gebruiksgebied al reeds zichtbare plooiën konden vertonen. Een belangrijke doorbraak in de aanpak van dit probleem werd in 1930 geïntroduceerd door von Karman met het begrip van de meewerkende breedte. De zich door plooiën aan de dragende functie onttrekkende delen werden hierbij buiten spel gezet. Een praktisch vervolg hierop kwam toen in 1939 in de Verenigde Staten een begin werd gemaakt met het systematisch onderzoek naar het gedrag van de lichte koudgevormde profielen. Dit onderzoek werd met veel voortvarendheid uitgevoerd door de Cornell-University in Ithaca onder leiding van Winter. In 1946 resulteerde dit in de uitgave van de 'Specifications for the design of light gage steel structural members', waarmee een praktische berekening voor de staalkonstrakteur mogelijk werd en die de grondslag vormde voor de richtlijnen die door het American Iron and Steel Institute werden uitgegeven.

In vele landen zijn deze richtlijnen overgenomen en ook thans worden deze nog gebruikt. Met de verbreiding van de toepassingen, het dunner worden van de plaat en vooral door de rationalisatie van de profielen volgden ook de andere landen met onderzoek op dit gebied.

In Nederland werd in 1970 de commissie SG-TC-16 'Onderzoek stalen dakplaten' opgericht die zich ging bezighouden met deze snel groeiende toepassing. Op grond van het onderzoek en de voorstellen t.a.v. een nieuwe grondslag voor de berekening door TNO-IBBC konden enkele jaren geleden de 'Richtlijnen voor de berekening van Stalen Dakplaten', de RSD-1974 worden uitgegeven.

Het probleem van de meewerkende breedte werd hierin aangepakt, ge-

deeltelijk via een theoretische benadering, gedeeltelijk via empirische weg. De theoretische aanpak maakte het mogelijk de relatief grote afrondingsstralen die de huidige dakplaten kenmerken, in de berekening tot uitdrukking te laten komen. De empirische benadering is gebaseerd op een aanname, overeenkomstig die van Rhodes en Harvey. De berekening verloopt dan via een tabel of vrij lange formules, hetgeen de toegankelijkheid en praktische bruikbaarheid van de berekening vermindert. Inmiddels zijn thans in de diverse landen circa 8 verschillende methoden ontstaan om dezelfde meewerkende breedte te berekenen. Onderlinge vergelijking toont grote verschillen als resultaat.

Wellicht is dit een indicatie voor de moeilijke benadering van het probleem langs mathematische weg. Maar dan tevens een indicatie dat deze ontwikkeling nog niet is afgesloten. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in de praktijk van de toepassingen van de koudgevormde dakplaten de bepaling van het draagvermogen via beproeving nog steeds in zwang is. Dit in tegenstelling tot de normale staalkonstrukties, waar deze bepaling vrijwel uitsluitend door berekening plaats vindt. Veel vragen zijn dus nog open in dit gebied waar het gaat om de vraag naar het gedrag van de dunne staalplaat bij overschrijding van de klassieke stabiliteitsgrens.

Onder andere:

- de vraag of verhoging van het door berekening gevonden nuttig draagvermogen mogelijk is;
 - de vraag t.a.v. de voorkomende praktische afwijkingen en beschadigingen van deze dunwandige profielen;
 - de vraag t.a.v. de invloed hiervan op het gedrag als dragend constructie-element;
 - de vraag t.a.v. het samenspel met diverse afbouwmaterialen;
 - de vraag of een vereenvoudiging van de berekening mogelijk is, enz.
- Het is dan ook dit gebied van de dunne-plaatkonstrukties waarmee het onderzoek in de groep staalkonstrukties aan deze Hogeschool is gestart en waarop een belangrijk accent gelegd zal worden.

Met de koudgevormde profielen heeft de staalbouwer een aanzienlijke uitbreiding verkregen van de keuze die hij uit de hem ter beschikking staande bouwstenen, de profielen en de platen, kan doen. Ook de warmgewalste profielen hebben belangrijke ontwikkelingen ondergaan. Door de uitbreiding met de reeks vierkante en rechthoekige buisprofielen is de keuze in de laatste 15 jaar bijna verdubbeld tot ruim 250 genormaliseerde profielen. Hiernaast heeft, vooral in de grotere marktgebieden, zoals de Verenigde Staten, de automatisering van de fabricage geleid tot het beschikbaar komen van diverse gelaste vakwerk-, raat- of volwandige liggers die volgens catalogus besteld kunnen worden.

De toepassing van de staalbouw in de woningbouw is niet het belang-

rijkste gebied van aktiviteit. Doch wanneer men denkt dat dit beperkt is tot een stalen liggertje om een muurtje te dragen, desnoods een kapspant, dan wordt de ontwikkeling op dit gebied ernstig onderschat. Wanneer wij in de geschiedenis terugzien dat blijkt dat reeds 130 jaar geleden complete woningen werden gefabriceerd, bestaande uit een gietijzeren of smeedijzeren geraamte, bekleed met plaatijzer. Bouwfysisch zal er wel wat op aan te merken geweest zijn, maar een feit is dat de Engelse firma Bellhouse omstreeks 1850 honderden van deze huizen exporteerde, o.a. naar Californië, waar de goldrush een grote vraag had doen ontstaan. Wellicht is men geneigd een parallel te trekken indien men de stalen woningen beschouwt die thans vanuit Nederland naar de olielanden worden geëxporteerd. Echter er heeft wel een grote verandering plaatsgevonden. Via samenspel met andere materialen, waarbij o.a. de kunststoffen een grote rol spelen, kunnen deze stalen woningen thans voldoen aan hoge bouwfysische eisen. In Nederland zal het bakstenen huis nog weinig konkurrentie van het stalen huis te vrezen hebben. De situatie in de Verenigde Staten, Canada en Zweden is echter anders. Er ontwikkelt zich daar een groeiende markt op dit gebied, in hoofdzaak gebaseerd op de toepassing van de dunne koudgevormde profielen en plaatvormige elementen. Zelfs worden daar koudgevormde damwandvormige profielen toegepast als fundering. Onze uitdrukking 'op staal gefundeerd' krijgt er dan wel een nieuwe, maar toch letterlijke toepassing bij.

Wanneer wij de blik terugwenden tot de normale staalkonstrukties dan zien wij ook een toenemende integratie van functies en materialen tot ontwikkeling komen, in combinatie met een sterke rationalisatie van de konstruktie en de fabricage ervan. In de bruggenbouw vinden we dit terug in de ontwikkeling van de orthotrope plaat en de seriematige produktie hiervan in relatief kleine panelen en secties; in de bouwkunde o.a. door benutting van de z.g. schijfwerking.

De wanden, daken en vloeren worden hierbij beschouwd en uitgevoerd als membranen waarmee de horizontale en verticale belastingen naar de fundering worden afgevoerd. Een sprekend voorbeeld van de mogelijkheden hierbij is wellicht de grote hangar voor het type B-747 vliegtuigen in Los Angeles.¹⁹⁾ De dakkonstruktie is daarbij uitgevoerd als een vouw-schaal met een overspanning van 70 m, waarbij de stalen dakhuid enorme membraankrachten opneemt.

Integratie van functies zien wij ook t.a.v. de bouwfysische aspecten, zoals bijvoorbeeld wanneer met water gevulde, konstruktief dragende elementen de dragende functie combineren met de functie als verwarmings-element en zodoende tevens het probleem van de brandwerendheid op eenvoudige wijze oplossen. Integratie is er ook met andere materialen

zoals beton en kunststoffen, die samenwerkend met de staalkonstruktie een optimale oplossing kunnen geven.

Ten aanzien van het kostenvraagstuk kan ik konstateren dat thans in vele gevallen niet meer uitsluitend de prijs van de draagconstructie in diverse materialen en uitvoeringsvormen wordt vergeleken om daarop de keuze te bepalen. Recente studies in diverse landen toonden aan dat bij een totaalsommatie van kostenaspecten van het gehele gebouw de oplossing veelal ten gunste van de staalbouw uitvalt, ondanks de nodige voorzieningen t.b.v. voldoende brandwerendheid.¹¹⁾

Resumerend kan ik konkluderen dat een sterke mate van rationalisatie in de staalbouw heeft plaatsgevonden, dat in de fabricage het handwerk in toenemende mate werd vervangen door het bandwerk, als ik dat zo stellen mag, of exacter uitgedrukt, dat een verschuiving plaats vond naar de automatisering d.m.v. numeriek bestuurde machines. Gedeeltelijk heeft de ontwikkeling betrekking op seriematige fabricage van elementen waarmee zowel in de bruggenbouw als bij de bouwkundige toepassingen, een rationele fabricage mogelijk is, doch waarbij het handwerk nog een grote rol blijft spelen.

Van groot belang acht ik de ontwikkeling waarbij de toepassing van de plasticiteitsleer resulteerde in een vereenvoudiging van de details. De hiermee gepaard gaande rationalisering acht ik zo belangrijk omdat hierdoor de flexibiliteit van de toepassingen niet wordt beperkt. Het hoofddoel van de staalbouw, n.l. de grote mate van vrijheid in architectonische vormgeving is bij deze ontwikkelingen behouden gebleven.

Dames en heren,

Aan het einde gekomen van mijn voordracht betuig ik bij deze officiële aanvaarding van mijn ambt allereerst mijn dank aan Hare Majesteit de Koningin voor mijn benoeming tot gewoon hoogleraar in de staalbouw bij de afdeling der bouwkunde aan deze Technische Hogeschool.

Dames en heren hoogleraren, lectoren en medewerkers van de afdeling der bouwkunde,

Dat U mij hebt uitgekozen om het onderwijs en onderzoek in de staalbouwkunde binnen Uw afdeling op gang te brengen acht ik een grote eer. Ik ben erkentelijk voor de wijze waarop U mij in Uw midden hebt opgenomen en voor de steun en het begrip dat ik reeds ondervond.

Ik ben mij ervan bewust dat de staalbouw, die in hoofdzaak een dragende functie vervult, binnen het bouwwerk daarmee een dienende rol speelt en dat daarbij het samenspel met de andere facetten die het bouwwerk tot een geheel maakt, uiteindelijk maatgevend is voor het succes. Zowel vanuit persoonlijke gevoelens als vanuit de verantwoordelijkheid

voor mijn taak stel ik het dan ook op hoge prijs met U te mogen samenwerken.

Hooggeleerde Van Douwen,

De wijze waarop het onderwijs in de staalbouw door U in de jaren voor mijn benoeming aan deze Technische Hogeschool werd verzorgd legt mij een zware taak op de schouders om het gehalte hiervan enigszins te continueren.

Voor de wijze waarop het onderzoek in de staalbouw in het Stevin Laboratorium van de Technische Hogeschool Delft door U tot ontwikkeling is gebracht en waarop U ook het enthousiasme van Uw medewerkers en studenten hebt gestimuleerd, is de staalbouwwereld in Nederland en ook daarbuiten U grote dank verschuldigd. Dit strekt mij tot voorbeeld om aan de Technische Hogeschool Eindhoven een stukje onderzoek tot ontwikkeling te doen komen, waarvan ik het belang als draager van het onderwijs op universitair niveau niet genoeg kan beklemtonen.

Mijne heren directie, oud-collega's en medewerkers van de Dienst van Gemeentewerken Rotterdam,

De ruim 20 jaren die ik met U heb mogen samenwerken zijn voor mij een prachtige tijd geweest, mede dank zij de sfeer die binnen deze dienst leeft. Het heeft mij waarlijk moeite gekost mij van U en het prachtige werk los te maken. Werk, waarbij de grenzen tussen taak en hobby vaak vervaagden.

Waarde Hartmann,

Toen ik in 1954 vanuit Werkspoor de sprong waagde naar de Dienst van Gemeentewerken Rotterdam, had ik mij geen betere chef en begeleider kunnen wensen. De wijze waarop U mij enerzijds vrij liet om mij te ontplooiën in het ontwerpen van vaste- en beweegbare bruggen en enkele andere meer bouwkundige staalkonstrukties en anderzijds mij wist voor te gaan in het wereldje van de staalbouw, vervult mij met dankbaarheid en maakt het mij mogelijk met veel genoegen hierop terug te zien.

Mijne heren van de afdeling Staalbouw,

Onder de vele boeiende objecten, waaraan ik met U gedurende 20 jaren mocht samenwerken, was er een dat steeds mijn pad gekruist heeft, n.l. de bouw van de Nieuwe Willemsbrug.

Ik heb het genoegen kunnen smaken leiding te mogen geven aan het ontwerp van de stalen bovenbouw die thans in uitvoering is. Ik weet dat mijn opvolger, Ir. Hardenberg, met U nog vele problemen moest oplossen bij het besteksgereed maken. Ook weet ik dat U bij de uitvoering

nog vele problemen zult tegenkomen, maar ik hoop dat de spanningen en zorgen hiervoor ruimschoots vergoed zullen worden door de voldoening bij het gereedkomen van deze, toch wel bijzondere brug.

Dames en heren studenten,

Ontwerpen is voor velen een fascinerende bezigheid. Het is onder meer een zoeken naar harmonie tussen rationeel konstruktieve principes en een vormgeving die bij aanschouwing aangenaam aandoet, die gevoelsmatig iets te zeggen heeft. Een harmonie, uiteraard ook, met de functionele eisen en de aanvaardbaarheid van het kostenniveau.

Veelal loopt het pad van zoeken langs ingewikkelde oplossingen. Maar de voldoening is groot wanneer uiteindelijk juist die simpele oplossing gevonden wordt, die achteraf gezien zo voor de hand liggend lijkt en die deze harmonie als het ware van zelf in zich heeft.

Vormgeven in staal eist een 'denken in staal'.

Mijn medewerkers en ik willen U graag behulpzaam zijn bij dit zoeken en denken in het interessante vakgebied dat staalbouw heet.

Ik dank U voor Uw aandacht.

Literatuur

- 1) Main trends in the development of steel structures and modern methods of their fabrication. IABSE-Symposium Moscow 1978 Introductory report Volume-band 27.
- 2) Biggs. Brittle failure of steelstructures.
- 3) Evaluation of a method for determining the tendency of mild steel to brittle fracture. Report No. SR 532/1A, Centrum voor lastechniek N.V.L.-T.N.O. 1955.
- 4) Kist N.C. Intreerede Delft 1917. Leidt een sterkteberekening, die uitgaat van de evenredigheid van kracht en vormverandering, tot een goede constructie van ijzeren bruggen en gebouwen?
- 5) Witteveen J. Intreerede Delft 1976. Lessen uit de geschiedenis van de toegepaste mechanica.
- 6) Gelaste hoekverbindingen in raamwerken. Uitgave commissie SG/TC14 1974.
- 7) A design method for the tension side of statically loaded, bolted beam-to-column connections, Zoetemeijer P. Stevin Laboratorium Heron 20 1974 No 1.
- 8) Tegen weersinvloeden bestand staal voor architectonische doeleinden. Dinkelo J. Staalcongres Luxemburg 1965.
- 9) Air-dehumidification in a box girder bridge. Schülein, Haas G. IABSE Journal J-4/77.
- 10) Second speciality Conference on Cold-formed Steel Structures. St. Louis, Missouri 1973.
- 11) Building costs and total economy. Wallin L. 2nd International ECCS Symposium Paper 21 London 1978.