

Constructief ontwerpen in aluminium

Citation for published version (APA):

Soetens, F. (1996). *Constructief ontwerpen in aluminium*. Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1996

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.

CONSTRUCTIEF ONTWERPEN IN ALUMINIUM

INTREEREDE

Prof.ir. F. Soetens



Technische Universiteit Eindhoven

INTREEREDE

Uitgesproken op vrijdag 3 mei 1996
aan de
Technische Universiteit Eindhoven

Prof.ir. F. Soetens

*What do you think of a metal
as white as silver
as tough as iron
as unalterable as gold
as easily melted as copper
which is
malleable
ductile
and with the singular quality
of being lighter
than glass*

Charles Dickens - 1856

Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en heren,

De bijzondere leerstoel "Aluminium-constructies" aan de TU Eindhoven is een nieuwe leerstoel, uniek in Nederland.

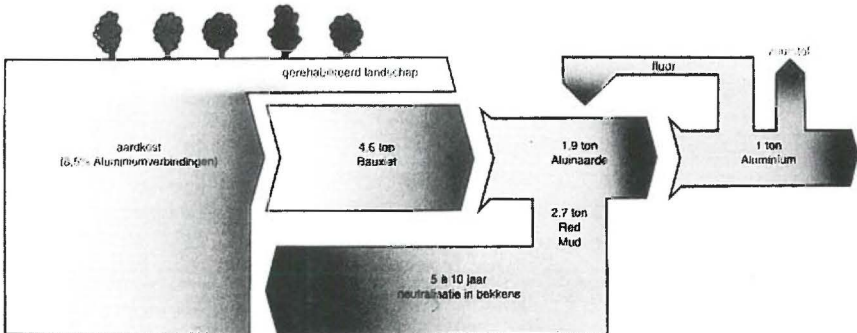
Naast bekende materialen als staal, beton, hout, en metselwerk vinden nieuwe materialen, zoals aluminium en composieten, steeds meer toepassing ook in bouwconstructies. Voor het constructief ontwerpen in aluminium is een aantal aspecten van belang. Genoemd worden het metaal aluminium, de eigenschappen, de vormgevingsmogelijkheden, de verbindingen en de beschikbaarheid van ontwerprichtlijnen.

Ik begin met de huidige stand van zaken en zal daarna proberen vooruit te kijken, waarbij ook onderwijs en onderzoek belicht zullen worden.

Aluminium

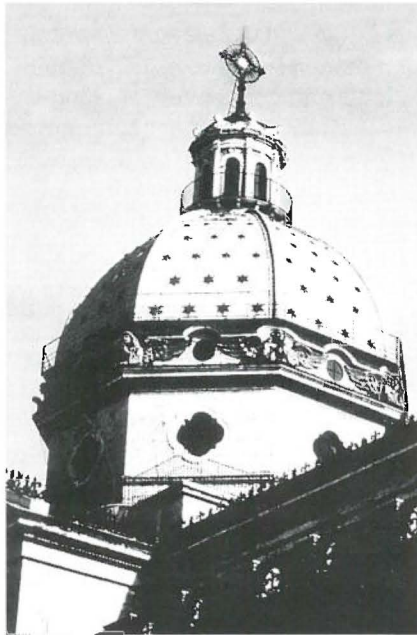
De constructieve toepassing van aluminium valt ongeveer samen met het begin van deze eeuw. Daarentegen dateert het gebruik van aluminium al van voor onze jaartelling en wel in China. Het heeft echter tot 1825 geduurd eer het bereidingsproces van zuiver aluminium werd herontdekt [1,2]. Dit was een gecompliceerd, chemisch proces, dat de mogelijkheid bood aluminium producten te maken. Echter, die producten waren duurder dan dezelfde producten van goud. Pas in 1886 slaagden de Amerikaan Hall en de Fransman Héroult erin - onafhankelijk van elkaar - aluminiumoxide door middel van elektrolyse te reduceren tot aluminium.

In 1890 slaagde Bayer er in aluminiumoxide uit bauxieterts te winnen. Deze beide gebeurtenissen vormen het begin van een groot-schalige toepassing van aluminium. Eén van de eerste toepassingen in de bouw is de dakbedekking van de



De keten van bauxiet tot zuiver aluminium

San Gioacchinokerk in Rome die na honderd jaar nog steeds in goede staat verkeert.



San Gioacchinokerk in Rome

Dat de toepassing van aluminium in de bouw aanvankelijk beperkt bleef, was voor een belangrijk deel te wijten aan de relatief ongunstige mechanische eigenschappen van zuiver aluminium. In 1906 gelukte het de Duitser Wilm een legering van het type aluminium - koper - magnesium te vervaardigen, waarmee het mogelijk werd de mechanische eigenschappen te verbeteren en aluminium als constructiemateriaal toe te passen. Inmiddels zijn er vele honderden aluminiumlegeringen geregistreerd.

Niet alleen door legeren, maar ook door nabehandelingen, zoals thermisch veredelen of koudvervormen, kunnen de mechanische eigenschappen worden verbeterd.

Eigenschappen aluminium

Een aantal eigenschappen van aluminium/aluminiumlegeringen, zowel fysische als mechanische eigenschappen, kan worden aangemerkt als gunstig, terwijl andere als relatief ongunstig gelden. Tot de gunstige eigenschappen behoren:

- *een lage dichtheid, volumieke massa, ongeveer één-derde van staal;*
- *goede sterkte- en taaiheidseigenschappen, ook bij zeer lage temperaturen;*
- *grote variëteit in vormgeving van profielen en verbindingselementen;*
- *goede bewerkbaarheid;*
- *hoge corrosievastheid door de taaie oxidehuid;*
- *uitstekende recyclebaarheid, op gelijkwaardig niveau te hergebruiken.*

Minder gunstige eigenschappen zijn:

- *relatief lage elasticiteitsmodulus, één-derde van staal;*
- *laag smeltpunt ($\pm 650^{\circ}\text{C}$), lage sterkte bij hoge temperaturen;*
- *vermoeiing sneller maatgevend dan bij vergelijkbare staalconstructies.*

Voor toepassing in dragende constructies komt zuiver aluminium niet in aanmerking vanwege de lage waarden van de mechanische ei-

genschappen. Echter, er zijn vele legeringen beschikbaar die wel de benodigde mechanische eigenschappen bezitten voor dergelijke toepassingen.

Materiaalconstanten	Aluminium	Staal
dichtheid ρ [kg/m ³]	2700	7800
E-modulus [N/mm ²]	70000	210000
G-modulus [N/mm ²]	27000	81000
Poisson-getal ν	0,30	0,30
lineaire uitzetingscoëfficiënt α_t [K ⁻¹]	23×10^{-6}	12×10^{-6}

Vergelijking eigenschappen aluminium en staal

Toepassing aluminium

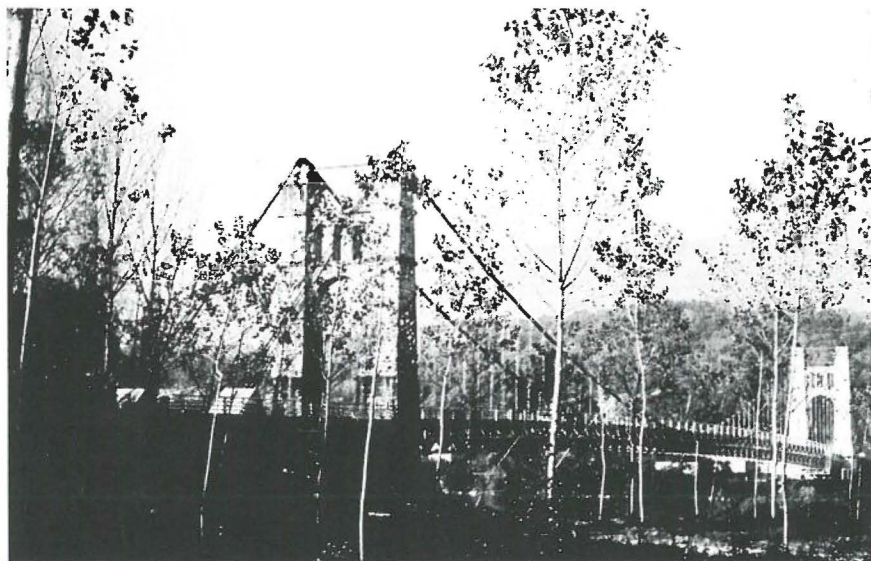
Vele toepassingen van aluminium zijn te vinden in de transport- en in de bouwsector. Gaat het in het eerste geval vooral om de gunstige

sterkte/gewichtsverhouding, waardoor de lucht- en ruimtevaart zo'n grote vlucht heeft genomen, in de bouwsector is het vaak een combinatie van meerdere factoren die leidt tot toepassing van aluminium.

Belangrijke factoren zijn:

- laag eigen gewicht van de constructie;
- vormgeving van de onderdelen;
- corrosieve omgeving;
- bijzondere omstandigheden.

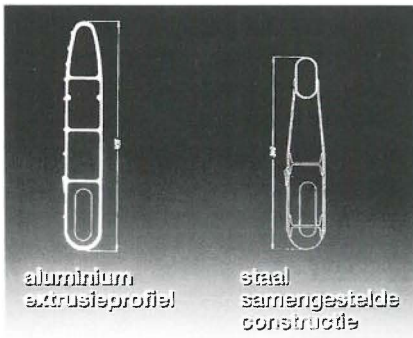
Bij grote overspanningen, zoals in dakconstructies, bruggen en dergelijke, leidt het lage eigen gewicht van de aluminiumconstructie tot minder materiaalverbruik of tot een verhoging van de nuttige belasting, hetgeen bij renovatie van bijvoorbeeld bruggen van belang kan zijn.



Gerenvoerde hangbrug bij Lyon

Het lage eigen gewicht heeft als bijkomende voordelen een eenvoudiger montage en een gemakkelijker transport. Bovendien vallen de energiekosten lager uit bij beweegbare delen van een constructie. Hierbij valt te denken aan beweegbare bruggen en beweegbare dakconstructies, zoals overkappingen van stadions.

Bij de vormgeving van onderdelen van een constructie heeft vooral het extruderen van profielen vele toepassingen van aluminium mogelijk gemaakt. Naast de bekende, zeer fraaie, dunwandige profielen voor geveltoepassingen kunnen tegenwoordig profielen met doorsnedeafmetingen tot 500 mm uit één stuk worden vervaardigd, hetgeen bij staal alleen door samenstellen van verschillende delen te bereiken is. Bovendien kunnen eenvoudig versterkingen en verstijvingen worden aangebracht, waardoor het stabiliteitsgedrag aanzienlijk gunstiger wordt.



Aluminium extrusie versus samengestelde staalconstructie

Behalve extruderen vindt ook het gieten van aluminium constructiedelen steeds meer toepassing, waarbij goede mechanische eigenschappen worden bereikt. Door koudvervormen van dunne plaat kunnen niet alleen profielen worden gemaakt, maar tevens daken en gevelplaten. Daarnaast vindt - zij het op beperkte schaal - walsen van profielen plaats.



Aluminium dak stadhuis Apeldoorn

Voor bouwkundige toepassingen zijn behalve de vormgeving zoals hiervoor behandeld, vooral van belang:

- *de goede corrosievastheid ;*
- *de gunstige bouwfysische eigenschappen als reflectie en emissie van warmte, waarvan bij daken en gevels gebruik wordt gemaakt;*
- *de decoratieve eigenschappen.*

Aluminium kan vele oppervlaktebehandelingen ondergaan, waarvan in het bijzonder anodiseren wordt genoemd.

Aluminium vindt veelvuldig toepassing in constructies, waarbij bijzondere omstandigheden een rol

spelen, zoals:

- *lage temperatuur; de goede mechanische eigenschappen bij zeer lage temperaturen - geen gevaar voor brosse breuk - zijn hier debet aan;*
- *inwerking van chemicaliën; de bestendigheid tegen inwerking van chemicaliën heeft geleid tot veel toepassingen in de apparatenbouw;*
- *hygiëne; aluminium is niet giftig en heeft een glad oppervlak, waardoor het veelvuldig wordt toegepast indien hygiëne van belang is. Ik denk hierbij aan opslagtanks voor drinkwater en aan verpakkingsmateriaal voor voedingsmiddelen.*

Ontwerpen en construeren

Ontwerpen en construeren in aluminium is succesvol, indien de gunstige eigenschappen van aluminium goed worden benut en er voor de minder gunstige eigenschappen een adequate constructieve oplossing wordt geboden.

In het voorgaande zijn de belangrijkste eigenschappen van aluminium voor constructieve doeleinden, zowel fysische als mechanische eigenschappen, aan de orde geweest. Aan de hand van een aantal toepassingen is een beeld geschetst van succesvol gebruik van aluminium.

Bij ontwerpen en construeren is naast kennis van het materiaal en de vormgevingsmogelijkheden vooral constructief inzicht vereist. Kerstens [3] illustreert dit met voor-

beelden van het bezwijken van constructies, die duidelijk wijzen op een gebrek aan inzicht. Ook Witteveen [4] staat uitvoerig stil bij de werkelijke krachtsverdeling en de door de constructeur aangenomen krachtsverdeling in de constructie.

Stark [5] stelt dat voor het ontwerpen van constructies heden ten dage ondersteuning met mechanica en constructieleer onmisbaar is. Van groot belang is het goed schematiseren van de constructie, waarbij de toegepaste mechanica een grote rol speelt. Daarenboven merkt Snijder [6] terecht op dat schematiseren evenals ontwerpen slechts te leren zijn door veel te oefenen.

Behalve voornoemde, belangrijke facetten die een rol spelen bij het ontwerpen en construeren in het algemeen - ongeacht het materiaal - geldt voor aluminium in het bijzonder:

Ontwerpen		Denken
en	↔	in
Construeren		Aluminium

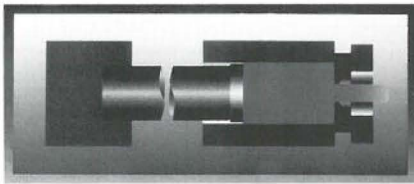
Met andere woorden, de mogelijkheden van aluminium - vooral de vormgevingsmogelijkheden - dienen vanaf het allereerste ontwerp centraal te staan.

Constructieve vormgeving

Behalve de meer bekende vormgevingstechnieken als walsen,

zetten en buigen van platen en profielen is voor aluminium in het geval van profielen vooral het vormgeven door extruderen van belang.

Extruderen is het onder hoge druk en relatief hoge temperatuur - ongeveer 400°C - persen van profielen. Blokken aluminium die tot de juiste temperatuur zijn verhit, worden in een container gebracht en vervolgens met een stempel door een matrijs geperst.



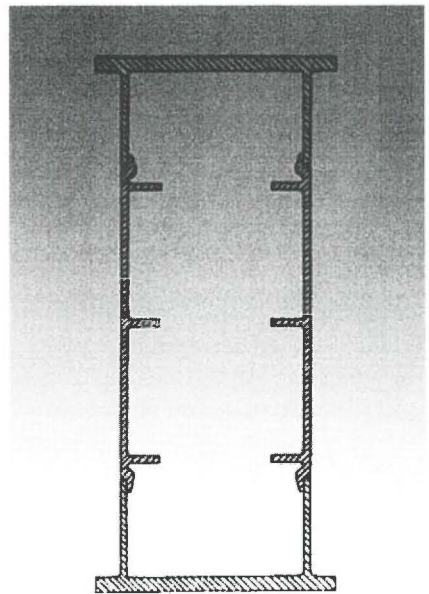
Extrusie van profielen

De vorm van de matrijs bepaalt uiteindelijk de doorsnedeform van het profiel, waarbij simpele open profielen, maar ook zeer gecompliceerde, vaak gesloten profielen gerealiseerd kunnen worden.

De capaciteit van de extrusiepers is bepalend voor de maximale doorsnede-afmetingen van een profiel. De grootste profielen die momenteel kunnen worden geperst, hebben - zoals eerder reeds gezegd - een maximale doorsnede van 500 mm. Voor het samenstellen van grotere profielen kan van extrusiedelen gebruik worden gemaakt en dienen de verbindingen zodanig te worden gekozen dat ze, constructief gezien, op de juiste plaats zitten en ook qua

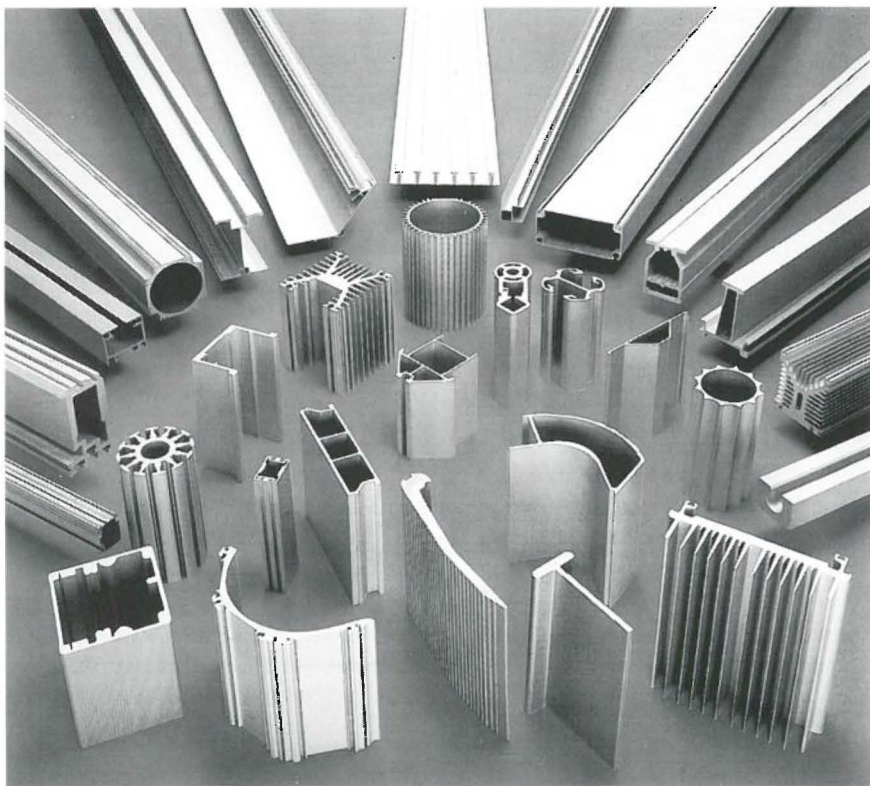
fabricage simpel gerealiseerd kunnen worden.

Als voorbeeld noem ik een uit vier extrusiedelen opgebouwde kokerligger van een voetgangersbrug. De lasen van deze op buiging belaste ligger zijn niet in de hoogst belaste delen gesitueerd. Ten behoeve van de fabricage is een lasbadondersteuning voorzien.



Uit extrusiedelen opgebouwde kokerligger

Door de lage elasticiteitsmodulus is - naast de doorbuiging - vaak de stabiliteit een maatgevend criterium bij het construeren. Door de vormgevingsmogelijkheden bij extruderen kunnen zowel de doorsnede



Extrusieprofielen

alsook de plaatvormige delen van de doorsnede geoptimaliseerd worden. In het laatste geval kan instabiliteit veroorzaakt door plooiën worden voorkomen door de plaatvormige delen te voorzien van verstijvingen. De plaatvormige delen en de verstijvingen worden in één arbeidsgang geëxtrudeerd. Behalve extruderen dient ook het gieten van aluminium vermeld te worden. De ontwikkelingen in de giettechnologie - diverse giettechnieken, modellering van giet-

processen - zoals door Katgerman [7] beschreven, hebben geleid tot producten met goede mechanische eigenschappen en een grote vrijheid van vormgeving. Vele gietlegeringen zijn bovendien goed lasbaar, dus makkelijk aan andere constructiedelen te verbinden.

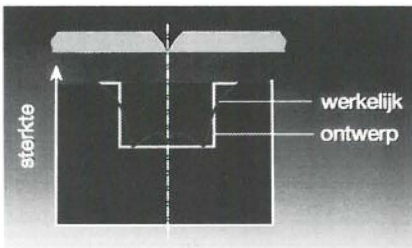
Verbindingen

Voor het verbinden van constructiedelen worden de volgende

methoden gebruikt:

- *Mechanisch verbinden door middel van bouten, schroeven en klinknagels. Veelal worden aluminium, gegalvaniseerd stalen of roestvaststalen verbindingsmiddelen toegepast teneinde galvanische corrosie te voorkomen.*
- *Lassen. De meeste aluminiumlegeringen zijn goed lasbaar, waarbij vooral het TIG- respectievelijk het MIG-proces wordt toegepast [8].*

Door de warmte-inbreng bij het lassen treedt bij de meeste legeringen een achteruitgang in mechanische eigenschappen op. Bovendien ligt ook de sterkte van het lasmetaal lager dan de sterkte van het uitgangsmateriaal. Het is daarom zinvol om bij het ontwerp ernaar te streven lassen in de hoogst belaste delen te vermijden.



Invloed warmte-inbreng bij lassen op de sterkte van aluminium



Gelijmde constructie opgebouwd uit extrusieprofielen

- *Lijmen. Hoewel lijmen als verbindings-techniek al vele jaren wordt toegepast - met name in de lucht- en ruimtevaart - en de lijmtechnologie aanzienlijke vooruitgang heeft geboekt, is de toepassing van lijmen in andere sectoren nog beperkt van omvang. Echter, de mogelijkheden - vooral ook door de vormgeving van de verbinding door extruderen - maken deze techniek zeer geschikt voor toepassing in aluminiumconstructies.*

Ontwerpregels

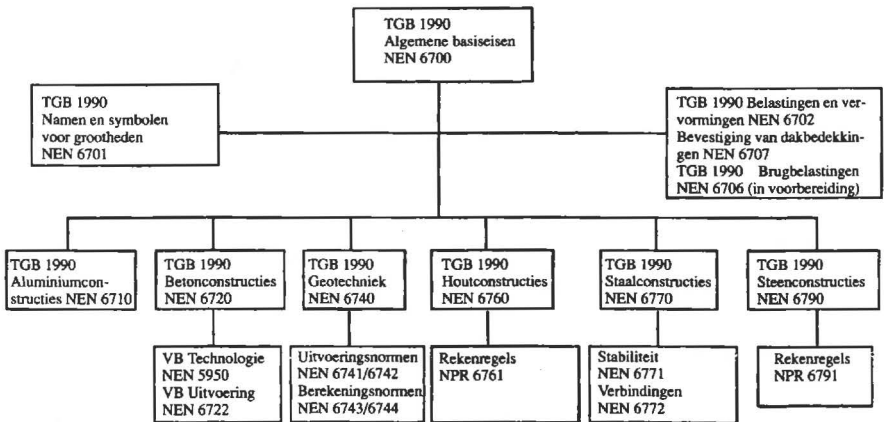
Voor het ontwerp en de berekening van aluminiumconstructies is NEN 6710, TGB Aluminium [9] beschikbaar, terwijl in Europees verband wordt gewerkt aan Eurocode 9 [10]. Beide maken deel uit van een stelsel van normen, waarin voor alle belangrijke bouwmaterialen (beton, staal, hout, aluminium, steen) dezelfde ontwerpfilosofie wordt gehanteerd. Dat wil zeggen dat de veiligheid van de constructie op uniforme wijze is geregeld. De door de ontwerpbelasting (= maatgevende belastingscombinatie vermenigvuldigd met de van toepassing zijnde belastingsfactoren) veroorzaakte krachten in de constructie mogen nergens de ontwerpsterkte (= de karakteristieke sterkte gedeeld door een materiaalfactor) overschrijden. Door het toepassen van genoemde factoren kan de gewenste veiligheid van een constructie - de kans op bezwijken - van tevoren worden bepaald.

In NEN 6710 en in Eurocode 9 zijn regels gegeven, gebaseerd op bovengenoemde ontwerpfilosofie, waarmee het draagvermogen van een aluminiumconstructie of constructiedeel kan worden getoetst. Bovendien is er bij de opzet van beide normen naar gestreefd zoveel mogelijk dezelfde aanpak te kiezen als voor staalconstructies teneinde de constructeur - in Nederland veelal een staalconstructeur - snel vertrouwd te maken met ontwerp en berekening van aluminiumconstructies.

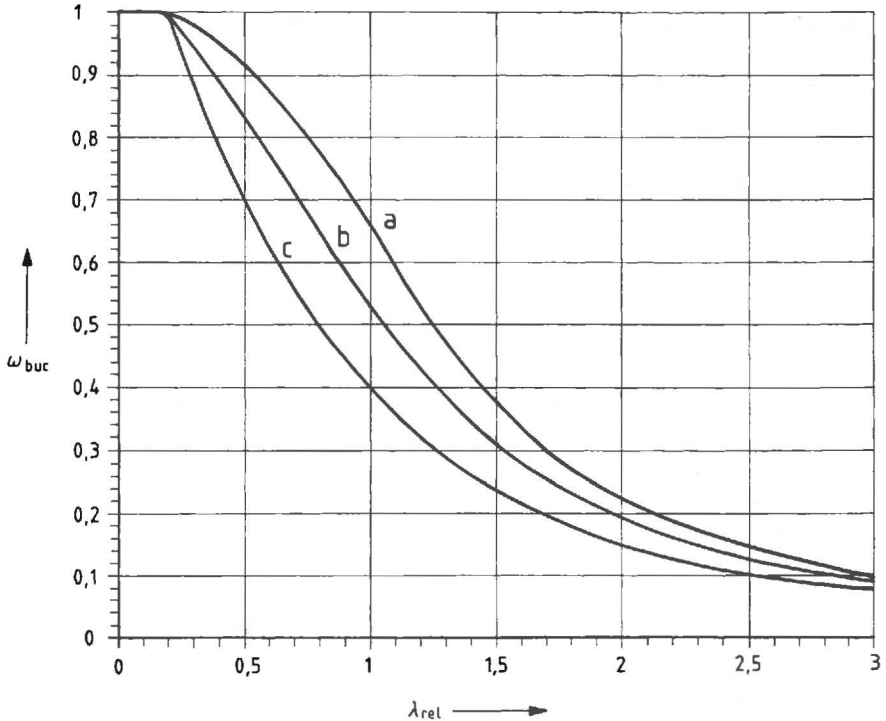
Belangrijke aspecten die in de genoemde normen aan bod komen, zijn:

- **Sterkte.** Behalve aan de statische sterkte wordt ook ruime aandacht besteed aan de vermoeiingssterkte van aluminiumconstructies onder wisselende belasting. Het laatste alleen in Eurocode 9.
Door het lage eigen gewicht en de relatief lage waarde van de elasticiteitsmodulus zal vermoeiing bij een aluminiumconstructie eerder maatgevend zijn dan bij een vergelijkbare staalconstructie. Echter, door een goede detaillering bij het ontwerpen, waarbij rekening wordt gehouden met de vermoeiingseigenschappen, kan ook bij aluminium een lange levensduur worden bereikt.

- **Stabiliteit.** Voor op druk belaste constructiedelen waarbij stabiliteit een rol kan spelen, zijn toetsingsregels gegeven. Aan de orde komen knikstabiliteit van staven, plooiestabiliteit van platen en plaatvormige constructiedelen, en kipstabiliteit van liggers.
- **Verbindingen.** Rekenregels zijn gegeven voor bout- en klinknagelverbindingen, voor lasverbindingen zowel voor de las als voor de door warmte beïnvloede zone naast de las, en voor gelijmde verbindingen.
- **Vervormingen.** Er zijn eisen geformuleerd.



Normen voor bouwconstructies



Knikkrommen voor op druk belaste staven

leerd om de vervormingen van constructies respectievelijk constructiedelen onder gebruiksomstandigheden te limiteren.

- **Brandwerendheid.** In Eurocode 9 wordt aandacht besteed aan het ontwerp van aluminiumconstructies, waaraan eisen ten aanzien van brandwerendheid worden gesteld. Met name nieuwe inzichten met betrekking tot het ontwerp - design for fire - en brandregulerende maatregelen bieden goede perspectieven voor aluminiumconstructies.

- **Levensduur.** Hoewel aluminium door zijn dichte oxydehuid een goede

corrosievastheid heeft, kan het nodig zijn de duurzaamheid te verhogen.

In dat geval kan een oppervlaktebehandeling zoals lakken of anodiseren worden toegepast. Daarnaast kunnen maatregelen nodig zijn om galvanische corrosie te voorkomen. Ook aan deze aspecten wordt aandacht besteed.

Onderzoek

Het merendeel van de hiervoor genoemde ontwerpregels is gebaseerd op onderzoek, theoretisch maar vooral ook toegepast wetenschappelijk onderzoek.

In het verleden is heel veel experimenteel onderzoek uitgevoerd, maar sinds een aantal jaren wordt ook veel gebruik gemaakt van computersimulaties.

Hoewel de nadruk hier vooral wordt gelegd op onderzoek naar het gedrag van aluminiumconstructies, mag het materiaalonderzoek niet onvermeld blijven. Het ontwikkelen van nieuwe aluminiumlegeringen, het verbeteren van de materiaaleigenschappen, het combineren van materialen zoals aluminium met vezelversterkte kunststoffen, zijn activiteiten die een belangrijke bijdrage hebben geleverd aan nieuwe toepassingen van lichtgewicht constructies. In dit verband dient zeker de voortrekkersrol van Vogelesang [11] te worden genoemd, zowel wat betreft de materiaalontwikkeling als de constructieve toepassing van nieuwe materialen.

Het onderzoek naar het gedrag van aluminiumconstructies is veelal in collectief verband uitgevoerd en dat zal ook zo blijven. Niet alleen omdat onderzoek duur is, maar tevens omdat het vaak een wat breder perspectief heeft en op langere termijn is gericht dan contractonderzoek. In het collectief onderzoek is samenwerking van organisaties en instellingen met de onderzoekscentra van groot belang. Zonder volledig te willen zijn noem ik hier: het Aluminium Centrum, het Projectbureau voor onderzoek aan Materialen en Productietechnieken (PMP),

de Technische Universiteit Delft, de Technische Universiteit Eindhoven, TNO Bouw en andere TNO instituten, en vele aluminiumverwerkende bedrijven.

Niet alleen nationaal maar ook internationaal wordt collectief onderzoek verricht, vooral in Europees verband.

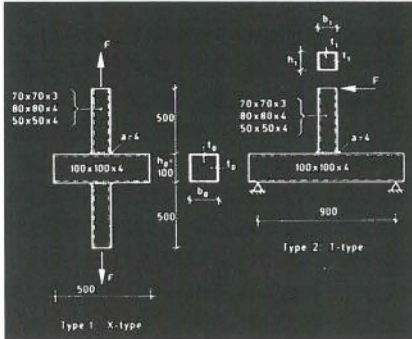
Europese technologieprogramma's zoals BRITE-EURAM, CRAFT, SPRINT, EUREKA hebben alle tot doel internationale samenwerking te bevorderen.

Bij het opzetten van collectief onderzoek spelen de diverse onderzoekcommissies een belangrijke rol. Een voorbeeld daarvan is ECCS-TC2 "Aluminium Alloy Structures" (European Convention for Constructional Steelwork - Technical Committee 2), waarin begin jaren zeventig onderzoeksprioriteiten werden vastgesteld en een begin werd gemaakt met collectief onderzoek.

In die beginjaren is veel energie gestoken in onderzoek naar knikstabiliteit, analoog aan wat zich bij staalconstructies heeft afgespeeld. Een belangrijke inspirator van dit onderzoek is Mazzolani [12] geweest.

Een ander onderwerp waaraan veel aandacht is besteed, is verbindingen. Boutverbindingen, zowel met als zonder voorgespannen bouten, waaraan vooral door Valtinat [13] en Ramirez [14] onderzoek is verricht. Verreweg de meeste aandacht is echter uitgegaan naar las-

verbindingen. In Nederland is vooral het constructief gedrag van gelaste verbindingen [8] onderzocht.



Onderzoek lasverbindingen

Als vervolg op het onderzoek aan gelaste verbindingen is op verzoek van de industriële partners een collectief onderzoek gestart aan gelijmde verbindingen. Doordat de lijmtechnologie veel "jonger" is dan bijvoorbeeld de lastechnologie - zeker in civiele en bouwkundige toepassingen -, is de draagwijdte van dit onderzoeksprogramma geringer geweest dan van gelaste verbindingen. Desalniettemin zijn ook voor gelijmde verbindingen eenvoudige rekenregels opgesteld.

Tenslotte, als laatste maar daarom niet minder belangrijk, wordt vermoeiing genoemd.

Voor lichte constructies die wisselend worden belast, zal vermoeiing eerder maatgevend zijn dan voor constructies met een relatief hoog eigen gewicht.

Al vele jaren vindt onderzoek op het

gebied van vermoeiing plaats. Dit onderwerp heeft ook binnen ECCS-TC2 veel aandacht gehad en heeft in 1992 geresulteerd in richtlijnen voor het ontwerp [15].

Een aantal aspecten in deze richtlijnen is niet of onvoldoende belicht, zoals alleen gelaste verbindingen (weinig of geen informatie over andere verbindingen), géén dikteinvloeden, typische staal details, géén informatie bij hoge aantallen belastingswisselingen.

Daarom is een internationaal (EU-REKA) project [16] uitgevoerd, geleid vanuit Nederland, met deelname van een aantal gerenommeerde bedrijven en instellingen, waaronder het Welding Institute uit Cambridge.

De resultaten van het EUREKA project dat in 1995 is afgesloten, vormen een goede aanvulling op de ECCS richtlijnen en dienen mede als basis voor Eurocode 9, Part 2: Structures susceptible to Fatigue [17].

Naast experimenteel onderzoek zijn veel computersimulaties uitgevoerd die, behalve informatie voor wat betreft ontwerprijnen, scheurgroei-modellen hebben opgeleverd, waarmee ook andere dan "standaard" details kunnen worden doorgerekend. Deze op breukmechanica gebaseerde modellen zijn een belangrijk hulpmiddel en zullen in toenemende mate bij het ontwerpen en construeren worden toegepast [18].

Andere onderwerpen van onderzoek

waar aandacht - hetzij nationaal danwel internationaal - aan is besteed, zijn (in willekeurige volgorde):

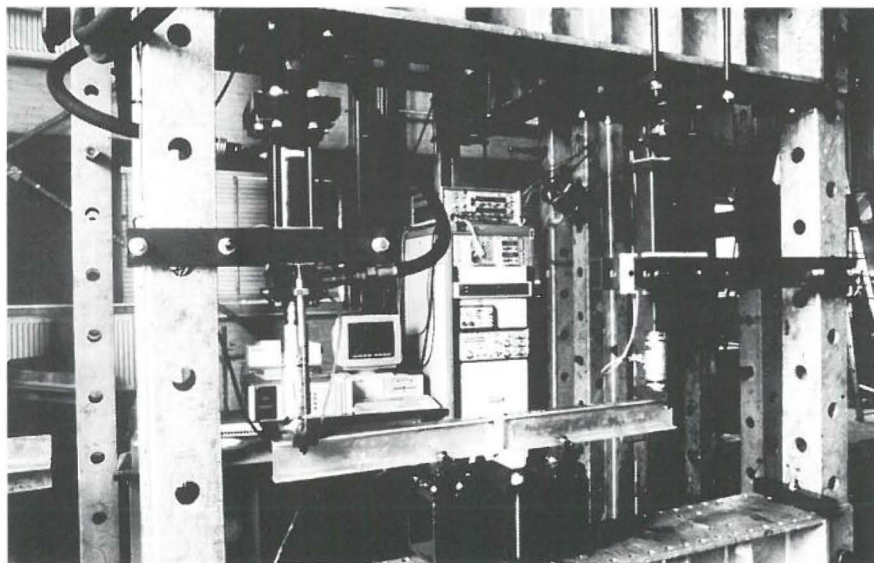
- *vervormingscapaciteit in verband met toepassing van de plasticiteitsleer;*
- *plooien van plaatvelden;*
- *kruip, langdurige belasting;*
- *dunne-plaat toepassingen met inbegrip van verbindingen;*
- *gedrag bij lage respectievelijk hoge temperatuur, zoals bij brand.*

Door deze opsomming is wellicht de indruk gewekt, dat er niets meer te onderzoeken valt. Die conclusie is onjuist. Het tot nu toe uitgevoerde onderzoek heeft een aantal basisgereedschappen opgeleverd, waarmee een aluminiumconstructie

kan worden ontworpen en berekend. Die gereedschappen moeten worden aangevuld en uitgebreid. Nieuwe ontwerpen, nieuwe toepassingen stellen andere eisen, waardoor aanvullend of nieuw onderzoek benodigd is.

Bij nieuwe ontwerpen zal vooral aandacht nodig zijn voor het goed schematiseren van de constructie. In het geval van nieuwe materialen - nieuwe legeringen maar ook combinaties van materialen - moet aan het constructief gedrag van die materialen aandacht worden besteed.

Aluminium is een "jong" constructiemateriaal vergeleken met beton, staal, hout en steen. Het aantal toepassingen van aluminium in dragende constructies is relatief gering



Vermoeiing van gelaste verbindingen in aluminiumconstructies

en daaraan gekoppeld is het toepassingsgerichte onderzoek ook relatief gering van omvang. Andermaal een illustratie dat er op het gebied van onderzoek nog genoeg te doen valt [19].

Onderwijs

De bestaande kennis gebaseerd op onderzoek en de ervaring met de toepassing van aluminium [20] dient als basis voor het onderwijsprogramma dat de studenten van de Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Bouwkunde, en van de Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek zal worden aangeboden. Dit gebeurt in de vorm van een keuzecollege voor studenten van de bovenbouw, een college waar studenten enthousiast voor gemaakt dienen te worden. Niet alleen om het college te volgen, maar ook - en vooral - om iets met de opgedane kennis te doen, zowel de ontwerpers als de constructeurs. Daarbij valt te denken aan projectonderzoek, aan afstudeeronderzoek, en ook aan promotieonderzoek op het gebied van aluminiumconstructies. Het promotieonderzoek kan worden ondergebracht bij de Onderzoekschool Bouw die het promotieonderzoek op het gebied van de bouw aan de technische universiteiten stimuleert en coördineert. Ook TNO Bouw is nauw betrokken bij de activiteiten van deze onderzoekschool; verschillende

promovendi zijn betrokken bij onderzoeksprojecten van TNO Bouw. Naast het meer toepassingsgerichte onderzoek van TNO is het promotieonderzoek meer fundamenteel gericht teneinde kennis en inzicht te verdiepen.

In het kader van de opleiding kunnen stages als onderdeel van het projectonderwijs eveneens een belangrijke rol spelen. Dat kunnen stages zijn bij andere faculteiten, andere universiteiten, onderzoeksinstituten, en bedrijven. Een dergelijk voorstel is reeds gedaan door prof. Kosteaas, TU München, leerstoel Leichtmetallbau. De stages kunnen zijn gericht op het verkrijgen van kennis dan wel op het uitvoeren van onderzoek of op het ontwerpen van een constructie.

Voor beide partijen zal dit een positieve uitwerking hebben. Voor de student is het van belang om te weten wat er elders speelt, terwijl het voor andere opleidingen en vooral ook het bedrijfsleven interessant is om de kennis van de Technische Universiteit Eindhoven te benutten.

In het kader van de nu weer 5-jarige opleiding aan de technische universiteiten zijn genoemde stages een uitstekende mogelijkheid voor de studenten om veel te oefenen. Het inzicht in het gedrag van constructies zal toenemen en een beter ontwerp van een constructie zal het gevolg zijn.

U hebt wellicht opgemerkt dat ik

ontwerpen, construeren en constructief ontwerpen door elkaar heb gebruikt. Dit is met opzet gedaan. Alleen nauwe samenwerking tussen ontwerper en constructeur leidt tot een goed ontwerp en tot een goede constructie.

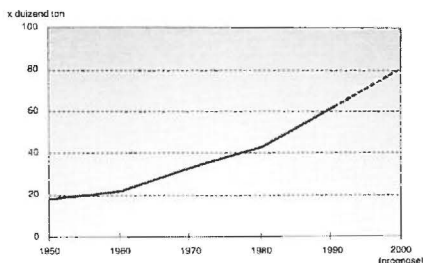
Vooruitblik, verwachting

De perspectieven voor lichtgewicht constructies zijn gunstig alsmede het aandeel van aluminium daarin. De functionele eisen die aan nieuwe constructies worden gesteld, zoals hiervoor geschetst, bieden goede mogelijkheden voor de toepassing van aluminium. Met name de gunstige eigenschappen en de vormgevingsmogelijkheden zullen aanleiding geven tot een sterke groei in het gebruik van aluminium. Een verwachting zoals die ruim twintig jaar geleden door Kievits [21] reeds is uitgesproken.

60.000 ton. Het aandeel daarin van dragende aluminiumconstructies is tot op heden gering. De uitdaging voor het onderwijs - en in het bijzonder de leerstoel aluminiumconstructies - is om ontwerpers en constructeurs op te leiden die lichtgewicht constructies in aluminium kunnen realiseren als een goed en concurrerend alternatief voor bestaande constructies.

Indien daarbij aansprekende resultaten kunnen worden geboekt, moet een verdubbeling van het aluminiumgebruik in de bouw in vijf jaar tijd mogelijk zijn.

In Nederland was het gebruik van aluminium in de bouw in 1990



Bron: Schatting van Stichting Aluminium Centrum

Groei van het gebruik van aluminium bouwmaterialen in Nederland

Besluit

Met de hiervoor uitgesproken verwachting kom ik aan het einde van mijn rede.

Graag maak ik van de gelegenheid gebruik het College van Bestuur, het Bestuur van de Faculteit Bouwkunde, de Stichting Aluminium Centrum, TNO Bouw en alle anderen te bedanken, die betrokken zijn geweest bij het instellen van de leerstoel "Aluminiumconstructies" en mijn benoeming tot hoogleraar.

Waarde Bruinsma, Beste Paul,

ik dank jou en de medewerkers van de Stichting Aluminium Centrum voor de inzet om een leerstoel "Aluminiumconstructies" te realiseren door zowel de bij het Aluminium Centrum aangesloten bedrijven als de onderwijsinstellingen enthousiast te maken en de ruimte te scheppen voor deze leerstoel.

Dankbaar ben ik voor het in mij gestelde vertrouwen en hoop onze goede samenwerking nog vele jaren voort te zetten.

Hooggeleerde Gouwens en Stark,
Beste Kees en Jan,
Waarde Bijlaard, Beste Frans,

ik dank jullie, als directie van TNO Bouw respectievelijk hoofd van de afdeling Constructies, voor de aan mij verleende faciliteiten teneinde mijn werk bij TNO Bouw te kunnen combineren met het hooglerarschap aan de Technische Universiteit Eindhoven.

Collega's en medewerkers van de Faculteit Bouwkunde en in het bijzonder de vakgroep Konstruktief Ontwerpen (BKO),

de hartelijke wijze waarop jullie mij hebben ontvangen en in jullie midden hebben opgenomen, heb ik als zeer plezierig ervaren. Het is een extra stimulans om mijn opdracht aan deze universiteit te volbrengen. Bovendien verheugt het mij zeer om nauw samen te werken met een oud-TNO collega, Bert Snijder, hoogleraar Staalconstructies.

Collega's van TNO Bouw, en in het bijzonder de afdeling Constructies,

in een zo inspirerende omgeving te mogen werken als de afdeling Constructies, is een voorrecht dat weinigen gegund is. Het is in deze omgeving dat ik me heb kunnen ontwikkelen en die nog steeds nieuwe uitdagingen biedt. Samen met jullie hoop ik iets moois van deze leerstoel te kunnen maken.

Hooggeleerde Wardenier, Beste Jaap,

ik dank jou voor de samenwerking op diverse gebieden zowel onderzoek als regelgeving, waarop jij je - net als je voorganger wijlen prof. Van Douwen - als hoogleraar Staalconstructies van de TU Delft, Faculteit Civiele Techniek hebt ingespanssen voor aluminiumconstructies. Je pogingen om deze leerstoel binnen de Faculteit Civiele Techniek te realiseren bleken op korte termijn niet haalbaar. Echter, afgesproken is om vanuit Eindhoven gastcolleges aan de TU Delft, Faculteit Civiele Techniek te verzorgen.

Dames en heren studenten,

Op mij rust ondermeer de taak jullie enthousiast te maken voor het constructief ontwerpen in aluminium. Ik hoop met mijn rede daartoe een eerste aanzet te hebben gegeven. Ik vertrouw erop dat velen van jullie meer zullen willen horen over de mogelijkheden van aluminium. Ik hoop jullie bij mijn colleges te zullen ontmoeten en ook in het vervolg van de studie met jullie te kunnen samenwerken in projecten.

Lieve ma,

u wil ik bedanken voor de steun en het vertrouwen, die hebben geresulteerd in deze benoeming waar u met recht trots op mag zijn. Buitengewoon jammer is het dat pa

Soetens en pa Vroom dit niet meer mee hebben kunnen maken, maar daarom is het niet minder plezierig deze benoeming aan u op te dragen.

Lieve Aletta en Boudewijn,

samen hebben we lang in spanning gezeten over deze benoeming. Nu het dan eindelijk zover is, wil ik mijn vreugde over deze benoeming delen met jullie. Ondanks de drukte die deze extra baan met zich meebrengt, denk ik er met jullie steun nog vele jaren van te genieten.

Dames en heren, zeer gewaardeerde toehoorders, ik dank u voor uw aandacht.

Referenties

- [1] Histoire Technique de la Production d'Aluminium. *Presses Universitaires de Grenoble, 1991.*
- [2] Aluminium, die ersten hundert Jahre. *VDI Verlag Düsseldorf, 1988.*
- [3] J.G.M. Kerstens, Hoe veilig zijn constructies? *Intreerede, Eindhoven, 1994.*
- [4] J. Witteveen, Lessen uit de geschiedenis van de toegepaste mechanica. *Intreerede, Delft, 1976.*
- [5] J.W.B. Stark, Over ijzer en staal. *Intreerede, Eindhoven, 1986.*
- [6] H.H. Snijder, Constructief ontwerpen in staal. *Intreerede, Eindhoven, 1994.*
- [7] L. Katgerman, Computersimulaties van stolprocessen: meer nieuwe kleren voor de keizer? *Intreerede, Delft, 1993.*
- [8] F. Soetens, Welded connections in aluminium alloy structures. *HERON, Vol. 32, 1987.*
- [9] NEN 6710, TGB 1991 - Aluminiumconstructies. Basiseisen en eenvoudige rekenregels. *NNI, Delft.*
- [10] Eurocode 9, Design of aluminium structures, Part 1.1: General Rules, *CEN/CS, Brussel. Te verschijnen eind 1996.*
- [11] L.B. Voegesang, Het universiteitslaboratorium als technisch wetenschappelijke werkvloer voor de industrie. *Intreerede, Delft, 1993.*
- [12] F.M. Mazzolani, Aluminium Alloy Structures. *Pitman Publ. Inc., London, 1995.*
- [13] G. Valtinat, Untersuchungen zur Festlegung zulässiger Spannungen und Kräfte bei Niet-Bolzen- und HV-Verbindungen aus Aluminiumlegierungen. *Aluminium, 47, Heft 12, 1971.*
- [14] J.L. Ramirez, Aluminium Structural Connections, Conventional Slip Factors in Friction Grip Joints, *Proceedings of the International Conference on Steel and Aluminium Structures. Cardiff, 1987.*
- [15] European Recommendations for Aluminium Alloy Structures. Fatigue Design, *ECCS-TC 2, Doc. No. 68, First Edition, 1992.*
- [16] F. Soetens, I.J.J. van Straalen, O.D. Dijkstra, European Research on Fatigue of Aluminium Structures. *Proceedings Sixth International Con-*

- ference on Aluminium Weldments, Cleveland, Ohio, 1995.*
- [17] Eurocode 9, Design of aluminium structures. Part 2: Structures susceptible to Fatigue, *CEN/CS, Brussel. Te verschijnen eind 1996.*
 - [18] I.J.J. van Straalen, O.D. Dijkstra, Prediction of the Fatigue Behaviour of Welded Steel and Aluminium Structures with the Fracture Mechanics Approach. *Journal of Constructional Steel Research 27, 67-88, 1993.*
 - [19] P.L.W.M. Bruinsma, F. Soetens, J. Wardenier, Aluminium draagconstructies. *Projectplan Aluminium Centrum, oktober 1995.*
 - [20] TALAT, Training in Aluminium Application Technologies, *European Aluminium Association. Brussel, 1995.*
 - [21] F.J. Kievits, Met uiterst vermogen. *Intreerede, Delft, 1974.*

Verantwoording afbeeldingen

<i>Afbeelding</i>	De keten van bauxiet tot zuiver aluminium	<i>Stichting Aluminium Centrum</i>
<i>Foto</i>	San Gioacchinokerk in Rome	<i>Stichting Aluminium Centrum</i>
<i>Foto</i>	Gerestoreerde hangbrug bij Lyon	<i>Pechiney</i>
<i>Afbeelding</i>	Aluminium extrusie versus samengestelde staalconstructie	<i>Stichting Aluminium Centrum</i>
<i>Foto</i>	Aluminium dak stadhuis Apeldoorn	<i>Stichting Aluminium Centrum</i>
<i>Afbeelding</i>	Extrusie van profielen	[20]
<i>Foto</i>	Extrusieprofielen	Hoogovens Aluminium
<i>Afbeelding</i>	Uit extrusiedelen opgebouwde kokerligger	[12]
<i>Afbeelding</i>	Invloed warmte-inbreng bij lassen op de sterkte van aluminium	[8]
<i>Afbeelding</i>	Gelijmde constructie opgebouwd uit extrusieprofielen	<i>Stichting Aluminium Centrum</i>
<i>Afbeelding</i>	Normen voor bouwconstructies	<i>NNI, TGB normen</i>
<i>Afbeelding</i>	Knikkrommen voor op druk belaste staven	[9]
<i>Afbeelding</i>	Onderzoek lasverbindingen	[8]
<i>Foto</i>	Vermoeiing van gelaste verbindingen in aluminiumconstructies	[16]
<i>Foto</i>	Groei van het gebruik van aluminium bouwmaterialen in Nederland	<i>Stichting Aluminium Centrum</i>

Vormgeving en druk:
Reproductie en Fotografie van de CTD
Technische Universiteit Eindhoven

Informatie:
Academische en Protocolaire Zaken
Telefoon (040-247)2250/4676

ISBN 90 386 0038 0



Frans Soetens werd in 1948 te Kesteren geboren. Na het HBS-B examen in Tiel en het HTS, Weg- en Waterbouw-examen in Dordrecht studeerde hij in 1975 af aan de Technische Universiteit Delft, Faculteit Civiele Techniek. Direct na zijn afstuderen trad hij in dienst bij TNO Bouw, Afdeling Constructies in Rijswijk alwaar hij leiding geeft aan nationale en internationale onderzoeksprojecten met name op het gebied van aluminiumconstructies. Hij is lid van diverse nationale en internationale onderzoekscommissies en heeft z'n inbreng in NNI commissie "TGB Aluminium" resp. CEN commissie "Design of aluminium structures". Daarnaast heeft hij talrijke bijdragen geleverd aan nationale en internationale congressen en is auteur van vele publikaties op zijn vakgebied. Per 1 september 1995 is hij benoemd tot bijzonder hoogleraar "Aluminium-constructies" aan de Technische Universiteit Eindhoven.