TU Delft

Delft University of Technology

175 jaar TU Delft

Erfgoed in 33 verhalen

Ankersmit, W.; Hagman, Rene; Heijmans, H.G.; Olsder, Geert Jan; van de Schootbrugge, G.; van Woerkom, Paul

Publication date
2017

Document Version
Final published version

Citation (APA)
Ankersmit, W., Hagman, R., Heijmans, H. G., Olsder, G. J., van de Schootbrugge, G., & van Woerkom, P. (Eds.) (2017). *175 jaar TU Delft: Erfgoed in 33 verhalen*. Histechnica.

Important note
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy
Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.

TU Delft
175 jaar TU Delft
Erfgoed in 33 verhalen
8
5
26
25
23
29
30
20

Histechnica – Vereniging Vrienden van
het Academisch Erfgoed van de TU Delft

Programma commissaris: *dr.ir. P.Th.L.M. van Woerkom, tel. 070 – 3070275, e-mail pthlmvanwoerkom@gmail.com*
Secretaris Histechnica: *ir. D. de Hoop, tel. 015 - 2141717, e-mail dgdehoop@gmail.com*

Delft, oktober 2017

Geachte heer, mevrouw,

De vereniging Histechnica heeft de eer u een exemplaar aan te bieden van haar "TU Delft Erfgoed lustrumboek". Het boek draagt de titel:

"175 jaar TU Delft – Erfgoed in 33 verhalen".

Histechnica is de "Vereniging van Vrienden van het Academisch Erfgoed van de TU Delft". In het inleidende hoofdstuk van het boek kunt u meer lezen over Histechnica en haar geschiedenis.

Histechnica heeft dit boek samengesteld ter gelegenheid van het 175-jarig bestaan van de Delftse universitaire opleiding. Wij menen dat het voorliggende boek een inhoudelijke en daarmee waardevolle bijdrage levert aan de geschiedschrijving van onze jubilerende universiteit.

Het boek werd eerder officieel aangeboden aan het College van Bestuur van de TU Delft - op de Alumni Dag van 8 juni. Het wordt nu ook verspreid onder relaties binnen de TUD gemeenschap en daarbuiten, van Histechnica en van de TUD Library.

Het boek werd in beperkte oplage gedrukt en zal niet in de handel komen.

Wij waarderen uw interesse voor het rijke academisch erfgoed uit de kleurrijke geschiedenis van onderwijs en onderzoek aan de TU Delft, als inspiratiebron voor geïnteresseerden in de ontwikkeling van de techniek en voor haar beoefenaren.

Hoogachtend,

Prof.dr. G.J. Olsder
Histechnica, voorzitter

Dr.ir. P.Th.L.M. van Woerkom
Histechnica, hoofdredacteur

175 jaar TU Delft

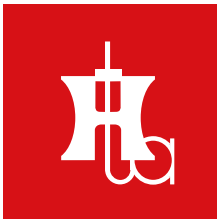
Erfgoed in 33 verhalen

Technische Universiteit Delft: overzicht van het centrale deel van de campus

Faculteit Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek en
Materiaalwetenschappen (3mE) – een Rijksmonument

175 jaar TU Delft

Erfgoed in 33 verhalen



Histechnica
Vereniging voor Geschiedenis der Techniek en Erfgoed TUD

175 jaar TU Delft – Erfgoed in 33 verhalen

Uitgegeven door Histechnica, vereniging van Vrienden van het Akademisch Erfgoed van de TU Delft, ter gelegenheid van het 175-jarig bestaan van de opleiding van de Technische Universiteit Delft (1842 – 2017).

Website van Histechnica: www.histechnica.nl

Website van de TU Delft: www.tudelft.nl

Redactie:
W. Ankersmit
R. Hagman en H.G. Heijmans (namens de TU Delft Library)
G.J. Olsder
G. van de Schootbrugge
P.Th.L.M. van Woerkom (Hoofdredacteur)

Met dank aan de auteurs, aan de TUD Library, en aan de vereniging Histechnica.

Met bijzondere dank aan dr. H.G. Heijmans van de TUD Library voor nimmer aflatende initiatieven, begeleiding en ondersteuning. Alsmede aan de heer S.G. van Dam van de TUD Library voor de professionele fotografie van een groot aantal van de getoonde TUD erfgoed objecten.

Copyright van artikelen en illustraties behoort bij de rechthebbenden.

Verantwoording beeldmateriaal: TU Delft en auteurs.
Vormgeving: Legatron Electronic Publishing, Rotterdam
Drukwerk verzorgd door: Ipskamp Printing, Enschede

ISBN 978-94-028-0652-6

Trefwoorden: erfgoed, historie, maatschappij, opstellen, techniek, universiteit, wetenschap.

Inhoudsopgave

G.J. Olsder IX
Voorwoord

P.Th.L.M. van Woerkom XII
Histechnica, Vereniging Vrienden van het Academisch Erfgoed van de TU Delft – een korte beschrijving

TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT

H.G. Heijmans 2
De wieg van de TU Delft

H.G. Heijmans en W. Ankersmit 7
De optische telegraaf van Lipkens

M.J. van den Hoven 13
Merkstenen uit het verleden – ijkpunten voor het heden

W.L.Th. Thijs 17
Mirakel van Delft en het Orakel van Delphi

ARCHITECTUUR

M.J.M. van der Meer 24
1912-2017: 105 jaar gebouw Mijnbouwkunde

C.A. van Wijk 30
Paradijsvogel met vuurvogels

CIVIELE TECHNIEK EN GEOWETENSCHAPPEN (CiTG)

W. Ankersmit 36
De spoorbrug bij Culemborg

W. Ankersmit 41
Triaxiaalapparaat

M.W. Ertsen en W. Ankersmit 47
De Romijn meetoverlaat

L. Aardoom 52
Het zonneprisma van Roelofs: Delfts vernuft en fabrikaat

W.A. van Beusekom 56
Het waterpas instrument van Caminada: ontwerp van L. Cohen Stuart

M.J.M. Bogaerts 61
Nieuwe instrumenten voor de landmeetkunde

Huib Ekkelenkamp, m.m.v. Janhein Loedeman 65
De repetitiecirkel van Borda en Lenoir

B.C. Root 70
Het Gouden Kalf: het zwaartekrachtsinstrument van professor Vening Meinesz

B. Manders 75
De Banka-boor, een klassieker onder de innovaties

K.J. Weber 80
De rol van de kristalkunde binnen de TU Delft

ELEKTROTECHNIEK, WISKUNDE EN INFORMATICA (EWI)

Dap Hartmann 86
Het Delftse proton-synchrotron van prof.dr.ir. F.A. Heijn

G.J. Olsder 91
Testudo: haar schepper en opvolgers

P.Th.L.M. van Woerkom 96
Wiskundige geometrische modellen: opkomst, erfgoed, ontwikkeling

INDUSTRIEEL ONTWERPEN

J.J. Jacobs 104
Iconen voor Industrieel Ontwerpen

LUCHTVAART- EN RUIMTEVAARTTECHNIEK

L. Aardoom en K.F. Wakker 112
Laserafstandsmeting naar satellieten: 'Delfts aardewerk' op de Veluwe

J.L. van Ingen en L.L.M. Veldhuis 118
Het LR Lage-Snelheids-Windtunnel-Laboratorium

J.A. Mulder 125
Het vluchtsimulatie-erfgoed van de TU Delft

TECHNISCHE NATUUR-WETENSCHAPPEN (TNW)

L.A. Robertson 132
The collection of the Delft School of Microbiology

H.G. Heijmans 136
De Max-Planck medaille

P. Kruit 141
De Philips EM300 Elektronenmicroscoop

J.E. Mooij 146
De S200 koelmachine van Quantum Transport – van elektronen per stuk tot Majorana deeltjes

J.A. Peters en H. van Bekkum 151
Het cyclohexaanmodel van Böeseken

WERKTUIGBOUWKUNDE, MARITIEME TECHNIEK EN MATERIAAL-WETENSCHAPPEN (3mE)

G. Lagers 158
Offshore techniek in Delft

D. Stapersma 162
Werktuigbouwkunde en het machine-laboratorium

J. Sietsma 168
Pingpongballen als wetenschappelijk instrument

R. Delfos 173
De gloeidraad anemometer

P. Meijers en P.Th.L.M. van Woerkom 178
Het zeepvlies analogon voor experimentele spanningsanalyse

LITERATUUR

CURRICULA VITAE

Voorwoord

G.J. Olsder

Waarde lezer,

Op 8 januari 1842 werd bij Koninklijk Besluit van Koning Willem II de Koninklijke Akademie te Delft opgericht. Het document werd ondertekend door Koning Willem II en zijn minister van Binnenlandse Zaken, W.A. baron Schimmelpenninck van der Oye. Deze gebeurtenis was voor de TU Delft en voor de stad Delft van historische betekenis. Zij wordt gezien als de geboorte van de Delftse universitaire opleiding.

Vermeld dient te worden dat op 20 juni 1864 de Koninklijke Akademie bij Koninklijk Besluit van Koning Willem III overging in de Polytechnische School, welke in 22 mei 1905 overging in de Technische Hogeschool (vanaf dan met status van universiteit). In september 1986 werd de TH Delft de Technische Universiteit Delft.

Op 8 januari 2017 herdacht de TU Delft dat haar opleiding op die dag 175 jaar eerder haar geboorterecht ontving. De 175-jarige weg van 1842 naar 2017 was een lange weg, waarop zij zich met toewijding en energie heeft ingezet voor de ontwikkeling van techniek, wetenschap en menselijk talent ten dienste van mens en maatschappij.

De vereniging Histechnica feliciteert de TU Delft van harte met deze mijlpaal en met haar reflectie op de door haar afgelegde levensweg. Histechnica is de vereniging bij uitstek met aandacht en zorg voor het Academisch Erfgoed van haar universiteit.

Wellicht overbodig voor sommige lezers van dit Voorwoord, toch eerst een paar woorden over Histechnica. De vereniging Histechnica -"Vrienden van het academisch erfgoed van de TU Delft"- werd in 1974 opgericht.

> *"Zij stelt zich ten doel het kweken en onderhouden van belangstelling voor de ontwikkeling van de natuurwetenschappen en de techniek, zomede voor alles wat daarmede verband houdt in de ruimste betekenis; alsmede steun te verlenen aan de doelstellingen met betrekking tot en het beheer van het Academisch Erfgoed van de Technische Universiteit Delft. Het geeft hieraan vorm enerzijds door het houden van voordrachten over de geschiedenis van de techniek, waar mogelijk met nadruk op Delftse ontwikkelingen, en anderzijds door het houden van excursies in binnen- en buitenland naar bedrijven en instituten en met nadruk op de geschiedkundige ontwikkelingen aldaar".*

In 2014 werd het boekwerk "Histechnica 40 jaar" uitgegeven. Daarin vindt u een beknopt overzicht van haar vele activiteiten, met nadruk op de laatste vijf jaar. U kunt dit boekje vinden op de website van de vereniging: http://histechnica.nl, alwaar ook meer informatie over de vereniging en haar activiteiten te vinden is.

Histechnica draagt bij aan de viering van het 175-jarig bestaan van de Delftse opleiding met het aanbieden van een bijzonder boekwerk, waarin een 33-tal bijdragen is opgenomen van haar medewerkers en oud-medewerkers. Ze beschrijven een selectie uit Delfts academisch erfgoed: historische voorwerpen, demonstratiemodellen en/of illustratiemateriaal.

Het idee hiervoor is bij het vorige bestuur van Histechnica ontstaan. De toenmalige voorzitter, dr.ir. M. Tienstra, schreef hierover onder meer:

> *"De vereniging Histechnica ziet dat sinds het sluiten van het Delftse Techniek Museum in 2008, de zichtbaarheid van haar erfgoedcollectie in hoge mate is beperkt – zowel binnen de academische gemeenschap als daarbuiten. Histechnica is van mening dat de TU Delft hiermee haar eigen uitstraling en haar eigen educatieve invloed tekort heeft gedaan. [...] Gelukkig heeft daarna het stimuleren van interesse voor techniek bij de jeugd een mooie plek gevonden in het indrukwekkende gebouw van de voormalige Afdeling voor Mijnbouwkunde aan de Mijnbouwstraat, nu het succesvolle Science Centre geheten.*
> *Histechnica heeft in verband met het bovenstaande een kleine "Erfgoed Werkgroep" in het leven geroepen met het doel te bevorderen dat de erfgoedcollectie weer een rol kan gaan spelen in het kader van het interne en externe educatieve beleid van de TU Delft.*
> *Histechnica Erfgoed Werkgroep wil graag waar mogelijk de beheerders van de TU Delft erfgoedcollectie ondersteunen bij het selecteren van een aantal objecten in de collectie die van bijzondere waarde lijken, hen ondersteunen bij het komen tot een goede en leerzame omschrijving van de achtergrond en functie van die objecten en van hun rol in de geschiedenis van de TU Delft ("parels" in het snoer van de ontwikkeling van onderzoek en onderwijs aan de TU Delft)."*

Een keuze moest worden gemaakt uit objecten in de Collectie Academisch Erfgoed, zowel in de centrale collectie als in collecties verspreid over de campus. Het kon niet anders dan een beperkte keuze zijn. En voor ieder van de gekozen objecten moest vervolgens een ter zake kundige schrijver worden gevonden. Dit heeft geleid tot het hier voor u liggende 33-tal artikelen. Zoveel artikelen, zoveel geëngageerde schrijvers, zoveel individuele schrijfstijlen. De hier voor u liggende rijkdom aan onderwerpen en aan schrijfstijlen reflecteert de rijkdom aan projecten en aan individuele talenten binnen onze universiteit.

In de literatuur bestaan vele citaten over hoe belangrijk geschiedenis is om de huidige tijdgeest te kunnen vatten en begrijpen, zoals "Wie de geschiedenis niet kent is gedoemd ze te herhalen", of "Wie zijn verleden niet kent begrijpt de toekomst niet". Even belangrijk lijkt mij dat de geschiedenis deel uit maakt van de cultuur; zonder stevige wortels is een boom geen lang leven beschoren. Evenzo bestaat er geen cultuur als stevige wortels in het verleden ontbreken. En dat geldt uiteraard ook voor de TU

Delft en haar geschiedenis. Maar om de uitspraak “zonder wortels geen boom” te extrapoleren naar “zonder Histechnica geen TU Delft” zou vanuit Histechnica mooi maar wel iets te aanmatigend zijn.

Dit boekwerk is tot stand gekomen door inzet van en nauwe samenwerking tussen de vereniging Histechnica, haar schrijvers al dan (nog) niet lid van Histechnica, en de TU Delft Library. Een speciaal woord van dank voor zowel dr. Han G. Heijmans van de TU Delft Library, die dit project deskundig heeft begeleid en mede heeft aangestuurd, en de hoofdredacteur, dr. ir. Paul Th.L.M. van Woerkom, zonder wiens doorzettingsvemogen dit boek het licht wellicht niet gezien zou hebben.

Aan de jarige Delftse universitaire gemeenschap in het algemeen en aan u waarde lezer in het bijzonder:

> *Wij hopen dat de vereniging Histechnica met dit jubileumboekwerk uw belangstelling voor het Academisch Erfgoed van de TU Delft zal aanwakkeren en verdiepen. En wij hopen dat Histechnica daarmee ook uw waardering voor de TU Delft als instituut voor academische opleiding en academisch onderzoek nog verder zal verhogen.*

Namens de vereniging Histechnica,

Geert Jan Olsder,
voorzitter

Het vroegere gebouw van de faculteit Mijnbouwkunde;
nu onderdak voor Science Centre Delft en startups

Histechnica,
Vereniging Vrienden van het Academisch Erfgoed van de TU Delft - een korte beschrijving

P.Th.L.M. van Woerkom

De oprichting van Histechnica

In 1969 besloot de Commissie Technische Wetenschappen van de Academische Raad van de Technische Hogeschool Delft tot oprichting van de Werkgroep Technisch Tentoonstellingscentrum. Haar doel was de mogelijkheden van realisatie van een *Technisch Tentoonstellingscentrum* (TTC) te onderzoeken en na te gaan of dit centrum tevens als technisch museum zou kunnen functioneren. Mede door steun van de Delftse industrie en andere externe partijen kon de TH het TTC in gebruik nemen op 30 september 1976. Het TTC werd gehuisvest in een vleugel van het voormalige gebouw van de faculteit Geodesie aan de Kanaalweg 4.

In de aanloop naar de realisatie van het TTC werd een parallelle actie ondernomen: de oprichting van "*Histechnica, Vereniging van Vrienden van het Technische Tentoonstellingscentrum*". De oprichting vond plaats op 23 december 1974. Het streven van Histechnica was, in grote lijnen, "de kennis van de historie van de techniek te bevorderen en steun te verlenen aan het TTC te Delft". Hoofdthema's van de doelstelling van Histechnica met betrekking tot ondersteuning van het TTC waren: het verlenen van ad hoc financiële steun en hulp bij het opsporen en verwerven van voor het TTC dienstige historische technische objecten; en het wekken van belangstelling voor de verzamelingen en tentoonstellingen van het TTC.

Histechnica hield contact met haar leden door het houden van periodieke manifestaties (voordrachten, symposia, excursies, studiereizen, tentoonstellingen in het TTC) en door de verzorging van een huisorgaan. Het huisorgaan, een brochure op formaat A4, kreeg de naam *Histechnica Nieuws*.

Het TTC en haar opvolgers

Het Technisch Tentoonstellingscentrum TTC werd officieel geopend op 30 september 1976 door de minister van Wetenschapsbeleid, F.H.P. Trip. Het markeerde het begin van een tijdperk van grote activiteit. Het TTC organiseerde met inzet van Histechnica veel tentoonstellingen, sommige met voorwerpen uit eigen bezit, maar ook werden internationaal reizende tentoonstellingen gepresenteerd. De eerste ging over instrumenten vanaf 1650. Daarna volgden kort na elkaar tentoonstellingen over

verbrandingsmotoren, modellen van ontwerpen van Leonardo da Vinci, mijnbouw, civiele werken in Nederland, rekenmachines, sluitmechanismen, optische verschijnselen en nog veel meer. Over deze tentoonstellingen werd verslag gedaan in de periodiek *Histechnica Nieuws*.

Enkele leden van de Histechnica commissie-in-wording voor de realisatie van het Histechnica "TUD Erfgoed lustrumboek". Het erfgoedobject in de voorgrond is een één-cilinderlichtgasmotor met vlamontsteking, merk Otto-Bayer. Het oorspronkelijke ontwerp dateert uit 1867.

Vanwege bezuinigingen en wijzigingen in huisvestingsprioriteiten binnen de TH – inmiddels TU Delft – kwam de toegankelijkheid van het TTC voor het publiek tot stilstand in 1989. In 1993 verhuisde het naar drie grote machinehallen van de vroegere gebouwen van de faculteit der Werktuigbouwkunde en Scheepsbouwkunde, met ingang aan de Ezelsveldlaan. Bij de verhuizing werd het Technisch Tentoonstellingscentrum (TTC) omgedoopt tot *Techniek Museum Delft* (TMD). Ook hier werden alom gewaardeerde tentoonstellingen gehouden, maar ook concerten, toneelvoorstellingen én workshops voor kinderen. Er was ook een klein restaurant.

Begin jaren 1990 vond het College van Bestuur dat de functie van TMD niet op de juiste wijze werd ingevuld. Het restaurant en de theater- en muziekvoorstellingen – nodig om de financiering rond te krijgen – drukten een te zwaar stempel op de uitstraling van het museum. Het College overwoog het

museum definitief te sluiten, maar besloot toch tot een doorstart. Vanaf maart 1996 richtte het TMD zich in toenemende mate op het kweken van belangstelling voor techniek onder de jeugd, waarbij een breed scala aan techniek-workshops werd ontwikkeld. Hierbij werd intensief samengewerkt met het lokale bedrijfsleven en met de Gemeente Delft, hetgeen onder meer leidde tot het programma Techniek Educatie Delft. Delen van de vaste opstelling moesten hiervoor zelfs plaatsmaken. Voor een plan om de vaste opstelling drastisch aan te pakken kon geen financiering worden gevonden, zodat de historische uitstraling met de stoommachines en gasmotoren in stand bleef. Histechnica leden waren hiermee zeer tevreden, maar de TU Delft vond dit toentertijd nog steeds niet passen bij de gewenste uitstraling van een op heden en toekomst gerichte universiteit. Om publiek te trekken ontwikkelde het TMD twee tot drie wisseltentoonstellingen per jaar over onderwerpen waar in principe de TU Delft een belangrijke rol in had. TMD trok uiteindelijk gemiddeld 20 000 tot 25 000 bezoekers per jaar en was daarmee, naar Nederlandse maatstaven, een middelgroot museum.

Ook het collectiebeheer werd anders ingestoken. Er werd niet meer gecollectioneerd met het oog op tentoonstellingen over alle denkbare vormen van techniek. In het vervolg werd alleen datgene verzameld dat een belangrijke rol had gespeeld bij het onderwijs en onderzoek van de TU Delft. Om het belang van het museum voor de TU Delft verder te versterken ontwierp TMD allerlei plannen om het museum te ontwikkelen in de richting van een modern Science Centre (*Science Centre Delft*, SCD), gericht op een grotere zichtbaarheid van de TU Delft en verbreding van de doelgroep. Het SCD zou zich expliciet richten op de presentatie van hedendaagse en toekomstige ontwikkelingen binnen de universiteit en op het betrekken van de jeugd daarbij. Zo zou de belangstelling van jongeren voor een technische studie aan een universiteit al op jeugdige leeftijd kunnen worden gestimuleerd. Als zodanig week het beleid niet erg af van dat van TMD. Wat wel drastisch veranderde, was de compleet nieuwe inrichting waarbij heden en toekomst van de techniek, en de rol van de TU Delft daarin, op de voorgrond stond. De stoommachines uit het TMD waren het College al lange tijd een doorn in het oog. Historische voorwerpen dienden te worden vermeden en de Academische Collecties werden onder het beheer gesteld van de Universiteitsbibliotheek (TU Delft Library). TUD erfgoedstukken werden opgeborgen in een depot aan de Rotterdamseweg en later in het nieuwe erfgoed depot onder het grasdak van de Universiteitsbibliotheek.

Het SCD werd gehuisvest in de oostelijke vleugel van het monumentale gebouw van de Afdeling Mijnbouwkunde aan de Mijnbouwstraat 120. De officiële opening van het SCD vond plaats in september 2010.

Dynamisch Histechnica

Al vanaf haar oprichting in 1974 had Histechnica als doel ondersteuning te verlenen aan het TTC. Waar het TTC deels werd bemand door medewerkers in vaste dienst van de TH, werkte Histechnica uitsluitend met vrijwilligers. Richtte de Histechnica-inzet zich in de beginperiode goeddeels op het leveren van bijdragen aan de inrichting van tentoonstellingen en op het verzorgen van de eigen

periodiek, in latere jaren verschoof de aandacht grotendeels naar het organiseren van voordrachten én binnen- en buitenlandse studiereizen.

Het eerste nummer van de periodiek *Histechnica Nieuws* verscheen in april 1975. In de periode tot en met november 1986 verschenen in totaal 29 nieuwsbrieven, allen in brochurevorm en op formaat A4. Ze bevatten artikelen over Histechnica-bestuurszaken, over TTC-bestuurszaken, beschrijvingen van tentoonstellingen in het TTC en elders, beknopte versies van Histechnica-voordrachten en geschiedkundige uiteenzettingen.

In mei 1987 verscheen de periodiek in een nieuw formaat: nu als boekje in formaat A5. De naam werd veranderd in *Histechnicon*. In de periode tot en met december 1991 verschenen in totaal 16 boekjes. De artikelen waren voornamelijk geschiedkundige uiteenzettingen over technische onderwerpen.

Na de Histechnicon editie van december 1991 hield de publicatie ervan op. Gekozen werd voor samengaan van Histechnicon met de periodiek *Industriële Archeologie*. De laatstgenoemde periodiek was een uitgave van de Stichting Industriële Archeologie Nederland (SAIN). De indruk bestaat dat door dit samengaan van twee periodieken de expliciete dienstbaarheid van Histechnica aan het TMD in de periode nadien minder goed zichtbaar is geweest.

Door het sluiten van het TTC en de nieuwe doelstelling van het SCD moesten de statuten van Histechnica en de naam van de vereniging worden aangepast. De naam werd nu *Histechnica, Vereniging van Vrienden van het Academisch Erfgoed van de TU Delft*. Ondersteuning werd nu gericht op verwerving, onderhoud en beschrijving van TUD-erfgoedobjecten. Histechnica ondersteuning van het SCD – de gemoderniseerde opvolger van het TMD – blijft gehandhaafd.

Belangrijk te vermelden is dat het beheer van TUD Erfgoed samenwerkt met onder anderen de Stichting Academisch Erfgoed (SAE), een samenwerkingsverband van erfgoedbeheerders van elf Nederlandse universiteiten. De leden tonen hun collecties gezamenlijk op de website van SAE. Voor een directe weblink naar Delfts erfgoed zie [5]. Het Leidse Rijksmuseum Boerhaave is geassocieerd lid van de SAE. De SAE fungeert als netwerk voor erfgoedbeheerders aan de universiteiten, werft subsidies voor gemeenschappelijke initiatieven en behartigt de belangen van het academisch erfgoed in het bestuurlijke circuit.

Histechnica timmert aan de weg

Voor haar leden organiseert Histechnica jaarlijks een zevental *voordrachten* van gerenommeerde sprekers over een breed spectrum van onderwerpen. Onderwerpen uit het recente verleden zijn gevarieerd. We noemen als voorbeelden het werk van Christiaan Huygens en van Kamerlingh Onnes, architectuur in de Archipel, het industriële verleden van Den Haag, het leven en werken van "de grootste Brit aller tijden": Brunel, de opkomst en ontwikkeling van de elektronica, en bruggenbouw.

Maar ook "geschiedenis in wording" met thema's als de technologie van de drinkwatervoorziening, de energieproblematiek, micro- en nanotechnologie, bestuurbare medische instrumenten, 'drive-by-wire' technologie, vage wiskunde, de berging van de Russische onderzeeër Kursk, de Delftse "D: Dream Hall", en de Delftse EWI elektronica studieverzameling.
Ook organiseert Histechnica jaarlijks een korte *binnenlandse excursie*. Bezocht werden onder andere het Nationaal Baggermuseum in Sliedrecht, het Werkspoormuseum te Amsterdam, het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium in Amsterdam, het Twents Techniekmuseum HEIM in Hengelo, een reeks Rijksmonumenten in Friesland, historische gebouwen en mechanismen in Antwerpen, en het Louwman automobielmuseum in Den Haag.

Histechnica organiseert tweejaarlijks een *buitenlandse studiereis*. Het gezelschap bezocht onder meer het Ruhrgebied, West-België en Noord-Frankrijk, Shropshire, Noord-Wales en Cheshire in het Verenigd Koninkrijk, Barcelona, het Duitse Saksen, en Noord-Portugal.

Tenslotte mogen de vijfjaarlijkse *lustrum symposia* worden genoemd. Ter gelegenheid van het achtste lustrum in november 2014 verscheen een Histechnica Gedenkboek met samenvattingen van een selectie van voordrachten uit de daaraan voorafgaande vijf jaren [1].

Voordrachten en symposia worden gehouden in het Science Centre Delft. Deze Histechnica-activiteiten evenals excursies en studiereizen worden gehouden in samenwerking met de KIVI-afdeling Geschiedenis der Techniek [3].

Als Vereniging van Vrienden van het Academisch Erfgoed van de TU Delft hecht Histechnica – met haar leden en met haar nog-niet-leden – grote waarde aan het behoud, de identificatie, de beschrijving, en het onderhoud van erfgoed van de TU Delft. Hierover overlegt Histechnica met de TU Delft Library, de formele hoeder van het TU erfgoed. In het kader van dat streven dient u het hier voor u liggende boek te zien. Een TUD Erfgoed Commissie van Histechnica heeft getracht in de verzameling van geregistreerde en ook vaak nog niet geregistreerde erfgoedobjecten binnen de TUD-gemeenschap een selectie te maken van een aantal – in haar ogen – erfgoed 'topstukken'. En zij heeft daarbij gezocht naar ter zake kundige personen die in staat en ook bereid zouden zijn deze objecten te beschrijven en hun relevantie te duiden.

Histechnica wil met dit lustrumboek uw aandacht en interesse wekken voor de TUD erfgoedcollectie. De hier gepresenteerde selectie van erfgoedobjecten heeft een belangrijke rol gespeeld bij het onderwijs en/of het onderzoek aan de TUD en heeft een functie gehad die dienstbaar was aan het maatschappelijk belang. En elk van de hier voor u liggende artikelen draagt duidelijk een persoonlijke signatuur – hetgeen naar wij hopen de interesse van de lezer nog meer ten goede zal komen.

TECHNISCHE
UNIVERSITEIT DELFT

De wieg van de TU Delft

H.G. Heijmans

De oprichting van de Koninklijke Akademie

Waarom kwam de eerste hogere opleiding in de techniek naar Delft? Het is een vaak gestelde vraag. In het midden van de negentiende eeuw had Delft al haar glans van de Gouden Eeuw inmiddels verloren. In de Gouden Eeuw behoorde Delft tot de voornaamste steden van Holland. Schilders als Johannes Vermeer, Michiel van Mierevelt, Carel Fabritius, het feit dat Willem de Zwijger hier één van zijn residenties had, hier is vermoord (misschien iets om wat minder trots op te zijn) en is begraven, het wereldberoemde Delfts Blauw aardewerk, de kamer van de VOC; er was genoeg om trots op te zijn.

In de negentiende eeuw was er van dat beroemde Delft niet veel meer over. Mensen vroegen zich af waarom een school voor de ingenieurswetenschap in dat achtergebleven Delft werd gevestigd. Er was nauwelijks sprake van activiteiten op het gebied van handel en industrie. Dat wat er nog was, was grotendeels terug te voeren op het militaire karakter dat Prins Maurits ooit aan Delft had gegeven door de vestiging van het wapenarsenaal en de kruitopslag. In dat kader paste de Artillerie- en Genieschool die gevestigd was op de Oude Delft heel goed, maar deze was alweer verdwenen in 1828. Ja, Delft had iets met de Oranjes en met het militaire, maar niet met handel en industrie. En toch werd er in 1842 de Koninklijke Academie tot opleiding van Burgerlijke Ingenieurs opgericht.

De opleiding in Delft is in belangrijke mate het werk van de “adviseur in zaken van Werktuigen en Scheikunde van het ministerie van Binnenlandse Zaken” (waar Onderwijs ook onder viel), de voormalig landmeter, Antoine Lipkens. De Maastrichtenaar Lipkens had zelf een opleiding genoten aan de École Polytechnique in Parijs en was daarmee al vroeg in aanraking gekomen met een op de praktijk gerichte ingenieursopleiding die paste binnen de behoeftes en het Revolutionaire gedachtengoed in Frankrijk.

Voor dit soort praktische opleidingen op universitair niveau was in Nederland absoluut geen plaats. Universiteiten waren er voor de zonen uit de betere families die het zich konden veroorloven om te studeren voor het genoegen, de academische vorming en om de relaties uit te bouwen. Men studeerde er niet voor zoiets banaals als een beroep. Met nijverheid en industrie liet men zich niet in. De letteren, de schone kunsten, de filosofie en de mathematica, die hadden opvoedkundige waarde. Natuurfilosofie was filosofie waar experimenteel onderzoek niet in thuishoorde. Daar kreeg je maar vieze handen van en het leidde je bovendien af van het ware begrip. Dat opleidingen als theologie, geneeskunde en rechten een plek hadden binnen het universitaire curriculum was sommigen al een doorn in het oog, want “broodstudiën zijn de pest der academien”.

Dat er binnen dit elitaire academische klimaat, binnen het agrarische Holland van Jan Salie dat zijn winsten vooral uit Nederlands-Indië haalde, toch een praktische ingenieursopleiding ontstond, is op zich dus al bijzonder.

Zoals gezegd: het lijkt in belangrijke mate het gevolg van de persoonlijke inspanningen van Lipkens, daarbij overigens gesteund door adhesiebetuigingen van verschillende architecten, spoorwegpioniers en andere vooruitstrevende ingenieurs. Lipkens had niet alleen een directe toegang tot de minister van Binnenlandse Zaken aan wie hij rapporteerde, maar ook tot de Oranjes. Een tiental jaren voor de stichting van de academie had Lipkens veel indruk gemaakt door binnen zeer korte tijd een optische telegraafverbinding tot stand te brengen ten dienste van de kroonprins, de latere koning Willem II, die de veldtocht tegen de Belgen aanvoerde. Diens vader Willem I had een belangrijk deel van zijn jeugd in Engeland doorgebracht en was daar gewend geraakt aan een totaal andere visie op techniek en technologie dan die van zijn onderdanen. Lipkens visie en zijn technisch kunnen vielen goed in het huis van Oranje.

Figure 1 | De Prinsenkamer. Geheel links het portret van kroonprins Willem III. Boven de deur Keurenaer en rechts daarvan Willem de Zwijger. In de spiegel boven de schouw is het portret van Lipkens zichtbaar. Geheel rechts Gerrit Simons.

Kort na een bezoek van Lipkens aan de nieuwe kroonprins (Willem III) werd het Koninklijk Besluit genomen tot de oprichting van een ingenieursopleiding te Delft. De keuze voor Delft had mogelijk te maken met de invloed van de Oranjes en met haar militaire, en dus ingenieurskarakter, maar wellicht van groter belang was de rol van de toenmalige burgemeester van Delft: Hendrik van Berckel. Deze zat in zijn maag met het leegstaande gebouw aan de Oude Delft waar de voormalige Artillerie en Genie opleiding in was ondergebracht. Hij stelde dit pand graag ter beschikking aan een nieuwe opleiding, die tevens zou zorgen voor verjonging en meer economische activiteit in de stad.

De Prinsenkamer

We hebben het dan over Oude Delft 95. Tegenwoordig is dat de 'achterkant' van UNESCO IHE, waarvan de hoofdingang zich bevindt in een nieuw gebouwd deel aan de Phoenixstraat. De ingang aan de Oude Delft 95 verschilt niet veel van die in 1842. Aan de linkerzijde van de voormalige hoofdingang zijn op advies van Lipkens zelf enkele uitbreidingen en aanpassingen doorgevoerd. Zo had hij daar een ambtswoning voor zichzelf bedacht, maar voor zover is na te gaan heeft hij zijn woonplaats Voorburg tijdens zijn periode aan de Koninklijke Akademie niet verlaten. In dit complex bevonden zich zowel de bestuurlijke zetels, als de collegezalen en oefenlokalen.

Binnen het gebouw van UNESCO IHE is het oude hoofdgebouw nog goed herkenbaar. De twee geschakelde bouwdelen zijn van binnen goed te onderscheiden. Binnen het oorspronkelijke hoofdgebouw wordt tot de dag van vandaag een plek vrijgehouden waar de wieg van de universiteit wordt gekoesterd: de zogenaamde Prinsenkamer.

De toegang tot de Prinsenkamer bevindt zich direct rechts na de hoofdingang aan de Oude Delft. De ruimte ontleent haar naam aan de portretten van de prinsen van Oranje die hier in de beginjaren van de Koninklijke Akademie gehangen hebben en die ter gelegenheid van de oprichting geschonken waren door het Koninklijk Huis. Hier bevonden zich toentertijd een kopie van het portret van de stichter van de Oranje dynastie Willem de Zwijger door Michiel Jansz. Van Mierevelt, een portret van Willem II door hofschilder Jean-Baptiste van der Hulst, en een portret van de toenmalige kroonprins, de latere Koning Willem III, toentertijd benoemd tot beschermheer van de Koninklijke Academie. Dit portret is van de hand van Nicolaas Pieneman. De zaal werd als vergaderzaal en voor plechtige bijeenkomsten gebruikt. Al op de oudste bouwtekeningen wordt deze zaal de Prinsenkamer genoemd.

Niet veel later kreeg ook de grondlegger van de academie, Antoine Lipkens, hier zijn schilderij van de hand van de zeer verdienstelijke Willem Hendrik Schmidt, terwijl ook de directeuren die hem opvolgden: Gerrit Simons, Johannes Augustus Keurenaer en Lewis Cohen Stuart, hier hebben gehangen, of nog hangen, zoals voor de laatste twee geldt. Ook andere bestuurders, zoals curator J.E.N. Baron Schimmelpenninck van der Oye, hoogleraren als Christiaan Dijxhoorn, de ontwerper van het nog werkende Wouda-gemaal, of beroemde alumni als Cornelis Lely zijn hier vandaag nog te vinden. De Prinsenkamer van het voormalige hoofdgebouw aan de Oude Delft heeft lange tijd gediend als dé

representatieve ruimte van de Koninklijke Academie en de latere Polytechnische School en vormt als zodanig de wieg van onze huidige Technische Universiteit.

Figuur 2 | Willem Hendrik Schmidt (1809-1849) schilderde dit portret van Johannes Antonius Lipkens, eerste directeur van de Koninklijke Akademie voor Burgerlijk Ingenieurs (1842 - 1846).

De collectie Universiteitsgeschiedenis

Recht tegenover deze Prinsenkamer, op vroegere tekeningen de “Ontvangkamer” genaamd, bevindt zich nog een tweede ruimte met portretten uit de geschiedenis van de TU, waaronder twee bijna levensgrote portretten. De eerste is van J.F. de Vogel, President Curator van 1910 tot 1935, geschilderd door Huib Luns, de tweede is van J.A.G. van der Steur, hoogleraar architectuur van 1914 tot 1931, geschilderd door Reinier Sybrand Bakels. Deze lijken op maat te zijn gemaakt voor de betreffende zaal. Ze zijn in de jaren ’30 van de twintigste eeuw geschilderd, wat er op wijst dat de Prinsenkamer in die tijd als het ware een uitbreiding kreeg. Ook hier zijn de portretten van bestuurders en hoogleraren door elkaar te vinden.

Op deze plaatsen is dus een portrettengalerij ontstaan die bedoeld of onbedoeld doet denken aan de traditionele collecties van hoogleraarsportretten die zich aan de gevestigde universiteiten hebben gevormd. Het is daarmee echter niet goed te vergelijken. De collectie portretten van de TU Delft is niet evenwichtig in de zin dat niet álle hoogleraren, curatoren, of rectoren zijn vertegenwoordigd. Het lijkt er sterk op dat er een zekere mate van willekeur bestaat, waarbij de ene hoogleraar zelf moest zorgen voor zijn portret, de andere hoogleraar het werk kreeg aangeboden door studenten en een enkeling het aan een besluit van het bestuur van de universiteit, of faculteit te danken had. De collectie portretten van de TU Delft is in de loop der tijd uiteraard flink gegroeid, ook al is de totale omvang redelijk beperkt gebleven tot enkele tientallen. Een deel van de portretten is geschilderd door beroemdheden als Nicolaas Pieneman en Van Der Hulst, een belangrijker deel is geschilderd door eigen docenten in het handtekenen en kunstgeschiedenis, zoals de eerder genoemde Willem Hendrik Schmidt, Abraham Gips, Adolf le Comte en Huib Luns.

Behalve de schilderijen zijn, of waren, er nog veel meer bijzondere objecten in het hoofdgebouw aanwezig. Het oorspronkelijke vergadermeubilair van de heren, maar ook Delfts Blauwe vazen, kaststellen en borden zijn aanwezig. Dat alles bij elkaar, aangevuld met diverse aan de universiteit als instelling gerelateerde voorwerpen zoals de oude staf van de pedel, een voorzittershamer, de aktentas van het college van Curatoren, bustes, medaillons, gedenkramen, erepenningen et cetera, vormen een bescheiden maar fraaie Collectie Universiteitsgeschiedenis.

Figuur 3 | De Bibliotheek van de TU Delft beheert nu een groot deel van het academisch erfgoed van de universiteit.

De optische telegraaf van Lipkens

H.G. Heijmans en W. Ankersmit

Inleiding

In dit overzicht van het Academische Erfgoed van de TU Delft mag de nalatenschap van de grondlegger van onze universiteit, Antoine Lipkens (1782-1847), niet ontbreken! De Delftse verzamelingen kennen meerdere objecten die met Lipkens in verband staan. Zo komt hij persoonlijk tot leven in een schitterend olieverfportret van Willem Henri Schmidt; zie daarvoor elders in dit boekje. Daarnaast kent de verzameling enkele fraaie meetinstrumenten voor het landmeetkundige veldwerk die Lipkens persoonlijk heeft ontworpen voordat hij in 1842 de eerste directeur werd van de Koninklijke Academie, de voorloper van onze Technische Universiteit. Het instrument waar zijn naam echter blijvend aan is verbonden, is de door hem ontworpen optische telegraaf.

Optische telegrafie

Al sinds mensenheugenis bestaat het idee om berichten niet per koerier te versturen, maar door middel van seinstations die gebruik maken van vlaggen, rookwolken, of vuren. Het bleek echter dermate inefficiënt om op die manier volledige berichten over te zenden dat alleen daar waar het uitsturen van koeriers niet mogelijk was, zoals bij de scheepvaart, de optische telegrafie tot ontwikkeling kwam. Tot het einde van de achttiende eeuw was optische telegrafie een onbetrouwbaar communicatiemiddel. Toen werd door de Fransman Claude Chappe (1763-1805) samen met zijn vier broers een optische telegraaf ontwikkeld, waarmee men over grote afstanden berichten snel kon verzenden.

Deze optische telegraaf bestond uit een constructie van scharnierende balken. Elke stand van de balken stond voor een verschillend letterteken of cijfer. Door de telegraaf bovenop een hoog gebouw zoals een kerktoren te zetten kon men over kilometerslange afstanden snel communiceren.

Een netwerk van optische telegrafen bestreek uiteindelijk geheel Frankrijk met uitlopers naar onder andere België en Nederland. Het was het eerste bruikbare telecommunicatiesysteem dat in vele landen navolging vond (www.ClaudeChappe.fr).

In de beroemde roman *De Graaf van Monte-Cristo* van Alexandre Dumas wordt een seinmeester omgekocht om een vals bericht te versturen.

De stations bestonden uit een verticaal geplaatste balk met aan de top twee dwarsarmen. Die dwarsarmen bestonden ieder uit een bovenarm (regulateur) die vier standen kon innemen ten opzichte

van de verticale balk, en een onderarm (indicateur), die weer acht standen kon innemen ten opzichte van de bovenarm. Hiermee waren 256 verschillende tekens mogelijk, waarvan er, voornamelijk vanwege de onderscheidbaarheid, maar 196 werden gebruikt. Het geheel vormde een zware complexe constructie van balken, katrollen, touwen en stangen, en vereiste bovendien nogal wat aan kennis en vaardigheden van de seinmeesters. Daardoor was het systeem niet eenvoudig na te maken.

Na het einde van de bezetting van Nederland door de Fransen werd het Nederlandse deel van de lijnen opgeheven, werden de toestellen verwijderd en werden de vele kerktorens weer in oude staat hersteld.

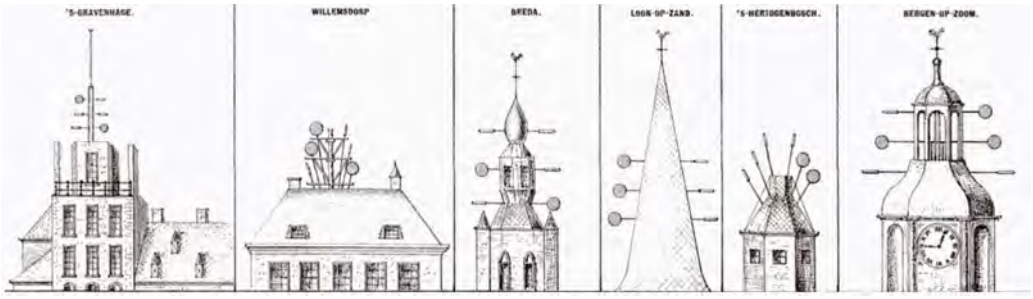
De constructie van de optische telegraaf van Lipkens

Tijdens de Belgische opstand van 1830 was er een communicatieprobleem tussen het veldleger in Brabant en Den Haag. Daardoor ontstond bij de regering opnieuw behoefte aan een snel communicatiemiddel. De Nederlandse regering vroeg daarom Antoine Lipkens, hoofdingenieur bij het ministerie van Binnenlandse Zaken om met een telecommunicatiesysteem te komen.

Bij zijn opdracht om een telegraaflijn in te richten kreeg Lipkens uiteraard de voorwaarde mee dat het systeem goedkoper en eenvoudiger moest zijn dan dat van Chappe. Immers: de tijd drong en er was geen tijd meer om ingewikkelde constructies te bouwen, noch om telegrafisten op te leiden.
Lipkens' ontwerp van de telegraafstations maakte gebruik van zes ronde schijven die vlak (onzichtbaar) of rechtop (zichtbaar) geplaatst kon worden. Dit "binaire" systeem maakte de interpretatie van het geplaatste teken een stuk eenvoudiger dan de relatieve instellingen van boven- en onderarmen bij de Chappe. De Lipkens-telegraaf bleek zelfs bij slechte weersomstandigheden nog zo goed zichtbaar dat er in een periode van drie jaar slechts 60 dagen niet geseind bleek te kunnen worden.

Het idee van de zes panelen had hij afgekeken van de Britse Marine die dit model in 1795 in gebruik had genomen als waarschuwingssysteem voor de scheepvaart en kustbewaking. De toepassing als telegraaf over land was nieuw. Lipkens verbeterde het Britse model door de houten panelen te vervangen door matten van gevlochten wilgentenen, die even goed zichtbaar waren maar beter bestand waren tegen de winddruk. Daardoor kon de constructie van het seinstation veel lichter en goedkoper worden uitgevoerd.

Het door Lipkens ontworpen station bestond uit een verticale mast met aan beide zijden drie uitstekende staken met aan de uiteinden hun draaibare schijf. Deze dwarsstaken konden zo nodig schuin op de mast geplaatst worden wanneer openingen in de kerktorens of andere installatiebeperkingen dat wenselijk maakte. Daardoor zagen de seinstations er verschillend uit, maar konden ze ook snel worden geïnstalleerd zonder al te veel schade toe te brengen aan de gebouwen (zie figuur 1 en figuur 2).

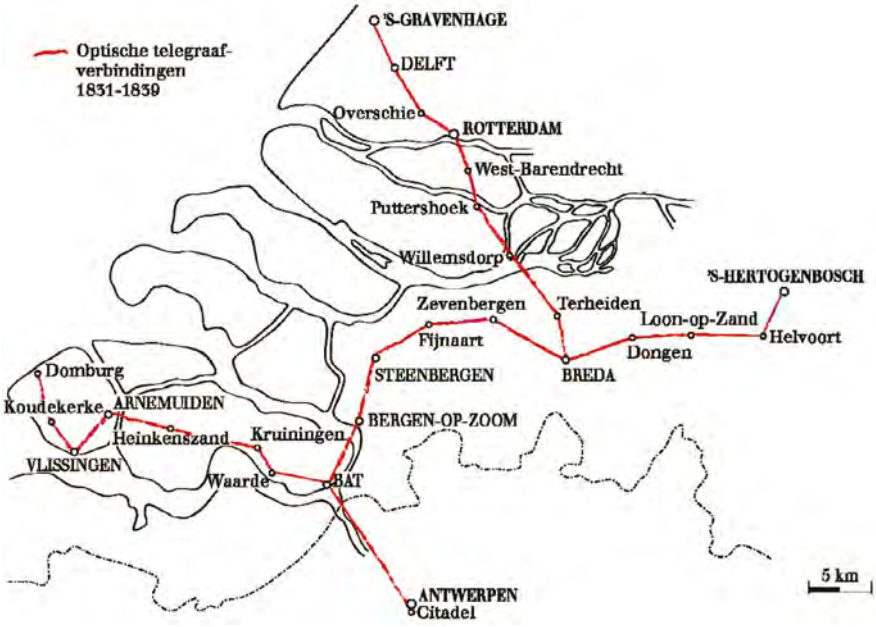


Figuur 1 | Lipkens telegrafen op verschillende gebouwen.

Figuur 2 | De optische telegraaf van Lipkens op de Wittepoort, Rotterdam 1835.

Het lukte Lipkens de verbinding Den Haag – Breda in 11 dagen operationeel te maken. Het werd twee dagen vóór de deadline opgeleverd, maar twee dagen te laat om nog van belang te zijn voor de 10-daagse veldtocht. De lijn werd later verlengd tot Den Bosch. De lijn kwam onder beheer van de topografische dienst van het ministerie van Oorlog.

In opdracht van de Koninklijke Marine kwam er later ook nog een Lipkenslijn tussen Breda en de citadel van Antwerpen met een aftakking naar Vlissingen. Alleen het laatste stuk naar Antwerpen is nooit gebruikt omdat het Nederlandse leger de citadel van Antwerpen in 1832 had verlaten. De overige telegraafverbindingen bleven echter operationeel tot de vrede met België in 1839.



Figuur 3 | Optische telegraafverbindingen in Nederland 1831-1839.

Snelheid

Een andere belangrijke verbetering van Lipkens betrof een methode om een nieuw teken "onder water" in te stellen. Bij het doorgeven van berichten moest de seinmeester na ieder geplaatst teken wachten op de bevestiging van de ontvangst door het naburige station, voordat hij kon beginnen met het plaatsen van een nieuw teken. In de telegraaf van Lipkens bestond de mogelijkheid om het over te seinen teken in te stellen zonder het meteen zichtbaar te maken. De ontvanger had dan de tijd om de stand van de schijven goed af te lezen en de ontvangst te bevestigen, waarna de seinmeester met één beweging het nieuw ingestelde teken meteen kon laten verschijnen. Dat bespaarde veel wachttijd, waardoor de effectieve seinsnelheid enorm toenam. Men bleek in staat om binnen één minuut een teken over twintig stations te versturen. Deze Lipkens-telegraaf wordt daarmee nog steeds gezien als de snelste optische telegraaf ooit.

Het seinboek

Een belangrijk onderdeel van ieder telegraafsysteem is het boek dat de procedures en de versleuteling van de berichten bevat. Dit seinboek is onder de verantwoordelijkheid van Lipkens ontworpen door 1e luitenant-ingenieur G. Jooss.

Figuur 4 | Model van de Lipkens-telegraaf.

De stations van Lipkens konden 63 (2^6-1) verschillende tekens instellen. Deze stonden voor 10 cijfers, 26 letters, en 27 zogenaamde dienstcodes. Voordat een bericht verzonden werd, werd eerst een 'attentie' teken geplaatst, waarbij alleen de bovenste vier schijven zichtbaar waren. Als alle schijven zichtbaar waren, betekende dit dat het voorgaande sein verkeerd was en dat er een nieuw sein kwam. Voor al dat soort instructies waren 27 seinen gereserveerd.

De letters en cijfers die vervolgens werden overgeseind vormden geen tekst, maar verwezen naar regels en pagina's van het seinboek. Het seinboek bestond uit 25 pagina's, of beter gezegd lijsten van meerdere pagina's, die genummerd waren volgens de letters van het alfabet. Iedere lijst had maximaal 999 regels. Een overgezonden signaal bestond uit een getal dat verwees naar een regel van de lijst

gevolgd door de letter van de lijst. Zo stond op regel 425 van de lijst D: “Ik heb de eer Uwe Majesteit te berigten (sic) dat”. De letter H werd overgeslagen, omdat een H betekende dat het voorafgaande getal geen regel was van een lijst, maar een hoeveelheid.

Conclusie

De Lipkens optische telegraaf was ingericht voor militaire doeleinden. Toepassingen voor handel en industrie waren blijkbaar niet in beeld. De masten en schijven werden na 1839 dus opgeslagen in depots, “voor het geval dat”. Ze kwamen er nooit meer uit, omdat korte tijd daarna de elektrische telegraaf haar intrede deed. Op Curaçao is ten behoeve van scheepvaartinformatie nog tot 1917 gebruik gemaakt van dit type telegraaf, en op Saba werd de Lipkens zelfs tot 1969 gebruikt!

Merkstenen uit het verleden – ijkpunten voor het heden

M.J. van den Hoven

Aan het einde van een promotiezitting, waarin een promovendus zijn of haar proefschrift succesvol verdedigd heeft, schrijden de leden van de promotiecommissie, in hun toga's, naar de receptiezaal om de jonge doctor te feliciteren. Op weg naar deze zaal lopen zij langs het olieverfschilderij van Frans van Hasselt, eind jaren negentienhonderd en dertig geschilderd door zijn tante, Margot van Hasselt. De zaal waarin de promotierecepties gehouden worden is eveneens naar Frans van Hasselt genoemd. Frans' neef, mr. J.B.F. van Hasselt (beiden hebben dezelfde initialen!), heeft het schilderij aan de universiteit aangeboden op 16 november 2004. Het schilderij werd in de Frans van Hasseltzaal onthuld in een ceremonie op 25 april 2007. Om te begrijpen waarom dit schilderij zo belangrijk is voor de universiteit gaan we nu 77 jaren terug in de tijd.

Het was een koude novemberochtend in 1940. De torenspitsen van de Delftse kerken en kapellen doorboorden de grijze lucht toen Frans van Hasselt, student Civiele Techniek, zich klaar maakte om zich naar het gebouw voor Civiele Techniek, met zijn monumentale hal en trappen, te begeven. Hij zou een speech gaan geven die bij de Nazi-autoriteiten zeker niet in goede aarde zou vallen.

Van Hasselt was niet de enige ingenieur in zijn familie, een upper middle class gezin met een landgoed in de buurt van Zutphen. Zijn scherpe, prominente neus had hem de bijnaam "Pinoccio" gegeven. Hij zag zichzelf niet als een held, en hij streefde er ook niet naar om er één te worden.

De Nazi's hadden besloten om Joodse hoogleraren niet langer toe te laten tot de Nederlandse universiteiten. Zo was het b.v. de zeer populaire Joodse professor Josephus Jitta niet langer toegestaan om college te geven in Delft. Frans van Hasselt, evenals bijna al zijn medestudenten, zag dit als zeer onrechtvaardig en tevens als een uiting van een moreel corrupt regime. Een sterk geweten, een sterk besef van ethiek en zijn diep geworteld geloof hadden hem in het verleden geleid en gaven hem nu vertrouwen. Velen, wie hij om advies vroeg, vonden het een slecht idee om te spreken in het openbaar, maar hij had zijn beslissing genomen. Later op de dag, bovenaan de grote trap in de hal van het civiele techniekgebouw, verwoordde hij wat velen alleen maar dachten over de Nazi-ideologie en de slachtoffers. Hij verwees naar Mattheüs: "Zalig zijn zij die vervolgd worden om der gerechtigheid wille, want hunner is het koninkrijk van de hemel". Hij wist niet dat hij, door zijn besluit om zich zo uit te spreken, de hoogste prijs zou moeten betalen. Hij werd gearresteerd en gevangen gezet. In 1942 eindigde zijn leven na maanden van dwangarbeid ver van huis, in de vrieskou, die hem van dag tot dag zwakker maakte. Zijn handen waren gehavend en ontstoken. Frans van Hasselt overleed in Buchenwald op de leeftijd van 27 jaar.

Figuur 1 | Olieverf schilderij van Frans van Hasselt in de Aula van de TU Delft.

Figuur 2 | Plaquette bij de ingang van het voormalige gebouw voor Civiele Techniek aan het Oostplantsoen.

Van Hasselt had een morele keuze gemaakt in chaotische en moreel verwarrende tijden. Sommigen probeerden te voldoen aan de nieuwe regels, sommigen probeerden de vijand te vriend te houden in de hoop dat de normale toestand weldra zou terugkeren. Maar zoals een schrijver over het Delfts studentenverzet opmerkte: "Toegeven aan de langzaam oprukkende barbarij was niet erg effectief". Uiteindelijk "niets", zo zei de schrijver, "kan worden gered uit de handen van de Nazi's met uitzondering van het eigen morele karakter".

De Tweede Wereldoorlog bracht voor alle studenten in Delft morele dilemma's met zich mee. Hoe te reageren op de Nazi-bezetting na de Nederlandse capitulatie -wetende dat weerstand zou kunnen leiden tot brute vergelding- gewoon doorgaan alsof er niets gebeurd was? En dan de solidariteit met de Joodse medestudenten en professoren? De loyaliteitsverklaring ondertekenen, zoals vereist door de Nazi' s voor degenen die willen doorgaan met hun werk en studie?

Er zijn vandaag de dag nog concrete herinneringen aan deze moeilijke periode. Zo is er een bronzen plaquette in de hal of de Aula van de Universiteit met 180 namen van degenen die stierven in de handen van de Nazi's, een schilderij van Josselin de Jong ("zij die streden, zij die leden"), een glas-in-loodraam in het voormalige gebouw voor Mijnbouwkunde met de namen van de mijnbouwkundige prof. Mekel en twintig van zijn mijnbouwstudenten die hun leven verloren in de oorlog, het reeds genoemde schilderij van Frans van Hasselt en een gedenksteen ter ere van hem bij de hoofdingang van

het voormalige gebouw van Civiele Techniek aan het Oostplantsoen te Delft, onthuld op 2 september 2014.

Deze historische artefacten herinneren ons ook aan onze verantwoordelijkheid als ingenieurs, wetenschappers en burgers, en het aantasten van ons moreel kompas door corruptie en slechte bedoelingen.

In zijn boek over de TU Delft in de Tweede Wereldoorlog beschrijft historicus Onno Sinke de achtergrond van de wijdverbreide morele verwarring in de Academische Gemeenschap: voor studenten, hoogleraren en stafleden. Een ieder moest telkens weer een antwoord geven op de vraag: waar sta ik? En dit was geen academische vraag, omdat het leven van mensen van het antwoord kon afhangen.

Studenten van alle tijden worden geconfronteerd met morele dilemma' s. Studenten aan technische universiteiten in de 21-ste eeuw zullen worden geconfronteerd met vele morele keuzes in hun loopbaan. Ook al is er geen oorlog, vanuit een moreel oogpunt gezien kan de keuze waarvoor de ingenieur zich gesteld ziet, zeer belangrijk zijn. Misschien werken ze later als ingenieur in een uithoek van de wereld waar geen regels zijn of waar aan wetten geen belang wordt gehecht. Ze moeten wellicht reizen naar gebieden die door conflicten geteisterd worden om de infrastructuur te herstellen. Zij kunnen te maken krijgen met mensen die er geen hoogstaande morele normen op na houden of ze moeten aan tafel zitten met mensen die niet eens van plan zijn om te voldoen aan de minimale wettelijke eisen. Sommigen zal gevraagd worden te werken aan geavanceerde wapensystemen of anders ontslag te nemen. Sommigen krijgen de kans om te werken aan technologieën die de hele wereld kunnen veranderen.

De Technische Universiteit Delft is van mening dat het van groot belang is om studenten te leren nadenken over morele dilemma's, de rechten en de behoeften van een ieder die te maken krijgt met de effecten van hun technische werk, hier en nu en overal en in de toekomst. In ethiekonderwijs leren studenten te denken in de context van hun werk en studie over morele waarden en welzijn, menselijke waardigheid en verantwoordelijkheid. Technologie gaat over middelen om een doel te bereiken. We moeten de juiste middelen zien te vinden, maar ons tegelijkertijd afvragen of die doelen wel moreel aanvaardbaar zijn.

Om ethische reflectie te bevorderen heeft de Technische Universiteit Delft een Mekelprijs voor Ethiek en Technologie ingesteld, en organiseert zij de Frans van Hasselt Lezing die herinnert aan de morele moed van een van onze studenten. Dit is een van de manieren waarop zij uitdrukking geeft aan de morele idealen.

We zullen de grote morele uitdagingen van een globaliserende wereld niet aan kunnen zonder morele gevoeligheid, morele moed en vaardigheid in het analyseren van complexe morele vraagstukken. We moeten in ieder geval dat wat de geschiedenis op dit punt aan ons heeft doorgegeven zorgvuldig beheren, opdat wij niet zullen vergeten.

Deze bronzen plaquette in de Aula herinnert aan de 183 medewerkers en studenten van de universiteit die in de Tweede Wereldoorlog zijn omgekomen

Mirakel van Delft en het Orakel van Delphi

W.L.Th. Thijs

Mirakel van Delft

Stel je een bedrijf voor met zo'n 400 medewerkers met als core business Research & Development. Tachtig procent van het personeelsbestand wisselt jaarlijks. Voor nagenoeg alle personeel is dit de eerste baan en de te halen deadlines zijn zo krap dat dit personeel ook 's avonds, in het weekend en op zon- en feestdagen moet werken. Het personeel ontvangt bovendien géén salaris. In het normale leven een volkomen kansloze onderneming. In de D:DREAM Hall bij de Technische Universiteit Delft is dit echter normale kost.

In de D:DREAM Hall [1, 2, 3] werken studenten vrijwillig aan allerlei machines waarmee ze zich op internationale wedstrijden meten met andere universiteiten en hogescholen. (De bekendste machine is de zonnewagen NUNA, doch hieraan werken slechts ca. 15 studenten. De rest van de 400 werken in 15 andere z.g. DreamTeams aan 15 andere machines/producten.) De meeste studenten doen dit voor de eerste keer, en de datum van de wedstrijd staat vast; de ultieme deadline. Het kost de studenten een boel tijd; ca. 50 studenten full-time en de rest part-time. Het levert veel plaatsen op erepodia en wereldrecords op, maar géén salaris en ook géén studiepunten.

Alle initiatieven tot het deelnemen aan zo'n wedstrijd, het rekruteren van teamleden uit allerlei faculteiten en het bij elkaar harken van sponsorgeld, komen vanuit de Delftse studenten zelf, bottom-up. Het is, zeker op deze schaal, uniek in de wereld. Heel veel andere universiteiten zijn er enorm jaloers op en proberen iets soortgelijks top-down te organiseren. Meestal met matig of geen succes. In Delft zijn de DreamTeams echter uitgegroeid tot een parel in de kroon van de TU Delft. Vanzelf, zonder bemoeienis van bovenaf. Vanuit de studenten van onderaf. Zonder rewards van buitenaf. Dit nu is 'Het Mirakel van Delft'.

Geschiedenis schrijven

De onderwerpen waarmee Histechnica zich bezighoudt zijn ooit nieuw geweest; ooit ontstaan. Ontstaan, gegroeid, zoals onlangs de DreamTeams. Hoe er over 100 jaar gedacht wordt over DreamTeams weten we niet. Wel dat het op dit moment een belangrijk fenomeen is; belangrijke contemporaine geschiedenis. De vervaardigde producten hebben vaak internationale erkenning en faam verworven. En nieuwe concepten en verbeterde producten zijn weer in de maak. Sommige producten hebben al in zeer korte tijd de begeerde status van Delfts erfgoed verworven. Het Science Centre Delft staat er vol mee. Er is zelfs een stichting ter behoud van het erfgoed uit vroegere

jaargangen van de D:DREAM Hall! Reden genoeg dus om er in deze jubileumuitgave van Histechnica aandacht aan te besteden.

Om er ook een echt historische draai aan te geven zal ik een verband leggen tussen dit Mirakel van Delft en Delfts naamgenoot in het oude Griekenland, het Orakel van Delphi.

Figuur 1 | Onthulling van de voor een race in Japan aangepaste NUNA 5 door Delft's loco-burgemeester Pieter Guldemond met Wim Thijs, zomer 2010. Met in het midden een juichende Wubbo Ockels. De stad Delft was promotor van NUNA bij deze Japanrace. Daarom is de Nuna ook in een Delftsblauw jasje gestoken.

Oorsprong

Ingenieurs zijn 'dingenmakers'. Toekomstige ingenieurs ook. En als die toekomstige ingenieurs op dit vlak niet voldoende krijgen aangeboden binnen de opleiding, dan kruipt het bloed waar het niet

gaan kan. Dan gaan ze gewoon zelf, op eigen houtje, dingen maken. Daaruit zijn alle DreamTeams ontstaan: uit de passie voor het 'dingen-maken'.

Daarnaast ben je jong en durf je de hele wereld aan. Je wilt je meten. Dus duik je graag met een groep makkers een stevige internationale competitie in. Mooie, tot de verbeelding sprekende dingen maken en de internationale concurrentie het nakijken geven. Daarvoor kom je je bed wel uit!

Figuur 2 | Vermogensmeting van een van de motoren van NovaBike op de rollenbank in de D:DREAM Hall in de tijd dat er nog verbrandingsmotoren gebruikt werden. Toen kon er alleen 's nachts getest worden vanwege het oorverdovende lawaai. Met de elektrische motoren van nu ligt dat even anders, ...

DreamTeams anno 2016

Het begon in 1999 toen Michiel Gommers, een eerstejaars student Luchtvaart- & Ruimtevaarttechniek, een internationale ontwerpcompetitie 'Formula Student' (race-auto-bouwen) had ontdekt. Hij wilde een team opzetten. Hij kreeg bijval van prof. Adriaan Beukers die zijn werkplaats openstelde en de student Alexander de Boer de gelegenheid gaf erop af te studeren. In 2001 reed de eerste Formula

Student wagen mee in de competitie in Engeland. Deze wagen is voornamelijk gebouwd in de automobielhal van TNO Automotive, toen nog gehuisvest aan de Schoemakerstraat in Delft. Formula Student is het oudste en grootste DreamTeam: ca 80 teamleden en tot nu toe jaarlijks een auto gebouwd: 16 stuks.

Voorjaar 2000 stonden twee Werktuigbouwstudenten bij mij op de kamer, Ramon Martinez en Tim de Lange, met het verhaal dat ze met de zonnewagencompetitie in Australië wilden meedoen en dat ze die zouden gaan winnen ook. De geboorte van de NUNA zonnewagen. Het DreamTeam NUNA is dus nagenoeg even oud en telt 11 tot 16 leden. Zij bouwen om het jaar een wagen, tot nu toe acht stuks. Vanaf die eerste dagen tot mijn pensionering in 2015 heb ik altijd de DreamTeams ondersteund. Ik heb in een kelder van een TU-gebouw aan de Rotterdamseweg een ruimte als werkplaats voor NUNA geregeld. In die kelder is ook Formula Student gaan werken met ingang van hun tweede wagen. Na enkele jaren heb ik een bovengrondse behuizing achter de faculteit Werktuigbouwkunde kunnen regelen. Daar hebben de twee teams tot ca. 2005 gezeten, samen met 'Delft Waterbike Technology', om uiteindelijk (met inzet van de toenmalige directeur Vastgoed Gerrit Kahlman) in de huidige locatie neer te strijken, de voormalige Stevin 1 hal achter Civiele Techniek. Later is de hal omgedoopt in D:DREAM Hall [4].

Over veel DreamTeams is geschreven in een lustrumboek [3]. Ook zijn zo'n vijf DreamTeams weer ontbonden. Ik volsta met het opsommen van de huidige DreamTeams; ongeveer in volgorde van anciënniteit:

Formula Student	- racewagen eerst op E85, sinds 2011 elektrisch
NUNA	- zonnewagen
SolarBoat	- zonneboot op draagvleugels (52 km/u)
ForZe	- Waterstof-aangedreven raceauto
WASUB	- mens-aangedreven duikboot
Ecorunner	- zuinigheidswagen op waterstof
NovaBike	- motorfiets eerst op E85, nu elektrisch
HPT	- snelste fiets ter wereld (135 km/u)
DARE	- raketbouwers
IGEM	- samenstellen van nieuw leven (bacteriën)
Prêt a Loger	- zonnehuis
RISE	- roeiboot op draagvleugels
Hyperloop	- trein met snelheid van meer dan 1000 km/u
INTERACT	- robots besturen vanuit de ruimte
MARCH	- exoskelet

Organisatie

Alle DreamTeams zijn rechtspersonen; een stichting of een vereniging. Het bestuur is verantwoordelijk. De studenten zijn zelf de baas. De studenten zijn 'probleemeigenaar'. Ik denk dat dit een van de belangrijkste factoren in het succes van de Delftse DreamTeams is. Ze doen het uit passie, vrijwillig, en zonder opdracht van anderen. Ze krijgen geen studiepunten. Ze moeten zelf voor de centen (sponsors) zorgen. TU Delft stelt alleen de ruimte en de werkplaatsmachines ter beschikking. De studenten springen zelf in het diepe en weten het hoofd uiteindelijk prima boven water te houden!

De TU Delft studenten werken louter op eigen kracht en leren van teamleden uit voorgaande jaren. Het overdragen van kennis blijkt cruciaal in het behalen van succes. De meeste teams hebben dit in hun organisatiestructuur geformaliseerd. De jongste teams lopen hierin nog achter. Het blijkt een min of meer vaste evolutionaire ontwikkelingsstap te zijn om op een bepaald moment de mutatie te maken naar het structureren van het uitnutten van de kennis en ervaring van vroegere teamleden. Concurrerende universiteiten kijken met verbazing naar deze zelfstandigheid. Elders zijn meestal stafleden nauw betrokken bij de teams. De meeste in de D:DREAM Hall gebouwde 'uitvindingen' zijn voertuigen, en in Delft bestaat geen leerstoel voertuigtechniek. Al met al een Delfts Mirakel,…

Geheim van de DreamTeams?

Waarom geven de studenten het uiterste voor hun DreamTeam? Omdat ze intrinsiek gemotiveerd zijn. Ze vinden het mooi. Omdat de mens een tribaal, sociaal zoogdier is en van heel bepaalde ingrediënten gelukkig wordt. Autonomie, eigen baas zijn. Werken aan iets dat veel groter is dan jezelf. Iets moeilijks tot een goed einde brengen, iets dat het uiterste vergt. Werken in een Team, een Tribe, een Stam. Winnen van andere tribes. Hiermee kan je op een hoog niveau van zelfverwerkelijking komen. Dat kan alleen vanuit intrinsieke motivatie. Extrinsieke motivatoren werken hierbij juist negatief.

Toch legt het de deelnemende studenten geen windeieren. De teamleden leren er meer dan in menig jaar binnen hun reguliere studie. Niet alleen kennis van en vaardigheid en ervaring in technische dingen maar vooral ook veel z.g. soft skills: vergaderen, presenteren, met geld omgaan, omgaan met groepsdruk, conflictbeheersing, afspraken maken, voorzitten, je standpunt verdedigen, plannen, doorzetten, hard werken, onderhandelen, contracten opstellen, noem maar op. Vooral ook het omgaan met tegenslagen is buitengewoon karaktervormend.

Bedrijven ontdekken steeds meer de overwaarde van afgestudeerden met DreamTeam ervaring. Job-interviews gaan binnen de kortste keren vooral over die ervaringen en monden bijna altijd uit in een uitstekend aanbod voor de jonge ingenieur. En terecht: het zijn meer volwassen, sterkere mensen geworden en meer allround, waardevoller ingenieurs.

Orakel van Delphi

Het Orakel van Delphi orakelde na inademen van hallucinerende dampen. Onze studenten raken ook in een soort van bedwelmde toestand bij hun werk. Volkomen besnuffeld worden ze en ze leven nagenoeg alleen voor het resultaat. Gedreven door intrinsiek, zelf-aangemaakte genotsstoffen. Gedreven door evolutionair ingebakken principes die de ruimte krijgen. Die ervaring van het in een team volkomen toegewijd werken aan een product is ook verslavend. Als je het eenmaal hebt geproefd wil je dat in volgende banen weer treffen. Ik vind dat een goede en mooie verslaving. Hopelijk blijven alle studenten die dit geproefd hebben hun hele carrière datzelfde najagen. Als de cultuur bij bedrijven ook maar een beetje die kant op gebogen wordt door onze DreamTeam studenten dan is het Mirakel van Delft nog véél groter dan we nu zien.

Boven de ingang van de tempel van Delphi stond de spreuk "γνῶθι σεαυτόν**»,** "Gnoti Seauton", "Ken Uzelve". En dàt is nu precies ten diepste de meerwaarde van het werken in de tempel van techniek die de D:DREAM Hall is: een pressure-cooker waarin de teamleden zichzelf leren kennen. Misschien is dàt wel het voornaamste, zij het wat ontastbare, erfgoed van de D:DREAM Hall.

Figuur 3 | Solar Boat #3, de eerste Delftse zonneboot op draagvleugels, voor de Sneker Poort in Bolsward in 2008. Door de lokaal voorgeschreven snelheidsbeperking kon de zonneboot het vliegen op haar onderwatervleugels hier niet demonstreren.

ARCHITECTUUR

1912-2017: 105 jaar gebouw Mijnbouwkunde

M.J.M. van der Meer

Onwillekeurig zal er bij een erfgoedcollectie gedacht worden aan objecten die ergens tentoongesteld en verplaatst kunnen worden en niet zo snel aan gebouwen. Maar het gebouw Mijnbouwkunde mag als rijksmonument en oudste gebouw van de TU Delft niet ontbreken in een boek over het TU Delft erfgoed.

Het gebouw bestaat uit twee lange vleugels van twee bouwlagen parallel aan de Mijnbouwstraat met afgeknot zadeldak, de drie dwarsvleugels – die twee binnentuinen mogelijk maken – hebben verschillende hoogten en dakvorm. Het gebouw is van waarde omdat het een prominente plek inneemt in de geschiedenis van de Technische Universiteit Delft, in het oeuvre van de architect Vrijman en in de wijk TU-Noord. Meer in het algemeen werd het bestempeld als rijksmonument vanwege de hoofdvorm, het materiaalgebruik, de detaillering en het interieur, die nog grotendeels gaaf zijn.

Figuur 1 | Het voormalige gebouw voor Mijnbouwkunde, aan de Mijnbouwstraat.

Voorgeschiedenis

De contouren van het gebouw komen in zicht als de opleiding Mijnbouwkunde rond 1900 ruim vijftig jaar bestaat. Een nieuwe lichting docenten initieert een discussie over de kwaliteit en de huisvesting van de opleiding. Met name Carel van Loon – later de eerste beheerder (decaan) van de faculteit Mijnbouwkunde – is een drijvende kracht achter de vernieuwing. De opleiding was niet met haar tijd meegegaan. Van Loon schrijft in een van zijn nota's over de gewenste vernieuwing: "*Deze opleiding liet, … , zeer veel te wenschen over; ze was in één woord gebrekkig …*".

Ook de druk om geologen voor de groeiende ertsexploitatie in toenmalig Nederlands Oost-Indië en de kolenmijnbouw in Limburg te leveren, zullen geholpen hebben de opleiding te vernieuwen. De discussie over de vernieuwing loopt een flink aantal jaren. Ondertussen worden er al wel nieuwe hoogleraren aangetrokken. Onder andere Gustaaf Molengraaff, nieuwe hoogleraar aard- en delfstofkunde, en Jan Grutterink, hoogleraar mineralogie, kristallografie en petrologie.

Uiteindelijk komt er een nieuw curriculum en op 24 april 1912 ondertekent koningin Wilhelmina besluit no. 147 "*…dat de onder e van artikel 32 eerste lid, der Hooger-Onderwijswet genoemde afdeeling der scheikundige technologie en mijnbouwkunde aan de Technische Hoogeschool te Delft zal worden verdeeld in twee afdeelingen, die der scheikundige technologie en die der mijnbouwkunde.*" Mijnbouwkunde wordt op dat moment een aparte opleiding.

Nieuwe huisvesting voor Mijnbouwkunde kon niet wachten tot de inhoudelijke discussie over de inhoud van de opleiding afgerond zou zijn. Immers, het gebouw aan de Westvest was te klein geworden voor zowel scheikundige technologie als mijnbouwkunde, de mineralen- en gesteentecollecties waren al in een aantal kamers boven café Bavaria aan de Binnenwatersloot ondergebracht. In 1906 werd in de begroting van Binnenlandse Zaken geld uitgetrokken voor een nieuw te bouwen eigen onderkomen.

De rijksbouwmeester Johannes Vrijman krijgt de opdracht om het gebouw te ontwerpen voor 250 studenten en 35 stafleden. Er worden vier ontwerpen gemaakt, uiteindelijk wordt het ontwerp met de hoofdingang richting het zuiden gekozen. Het gebouw is ontworpen in neo-Hollandse Renaissancestijl. Kenmerkend voor het gebouw zijn de grote ramen en het vele daglicht dat zo naar binnenkomt wordt zeer gewaardeerd. Vrijman heeft het overigens niet makkelijk met de vijf hoogleraren die zich met alle details bemoeien o.a. bij de keuze van houtsoorten en behang. De hoogleraren krijgen allen kamers met en-suite de privé-laboratoria en andere werkvertrekken zodat zij na binnenkomst zo min mogelijk de gang op hoefden, uitsluitend nog om naar het "Lavatory voor Heeren" te gaan. Niet alle hoogleraren hebben echter een eigen practicum- en/of collegezaal. Ook aan de studenten is gedacht, afhankelijk van het studiejaar hebben ze in een of meer practicumzalen een vaste plaats met de mogelijkheid tot het opbergen van een microscoop en boeken. Voor het museum met de mineralen, gesteenten en fossielencollecties wordt speciaal een aparte vleugel ingericht.

In februari 1913 betrekken hoogleraren en studenten het gebouw aan de Mijnbouwstraat. De hoogleraren zien dit moment als nieuwe start van de opleiding, professor Grutterink: "*..de nieuwbouw geeft blijk van de ontwaking in ons land tot werkzaamheid op een gebied waarop het tot nu tot nog niet in de mate zich deed gelden als het behoort: het gebied der mijnindustrie en geologie*". Hoogleraar Jonker sprak over de "*zoo heerlijk opbloeiende geologische wetenschappen*".

De nieuwe huisvesting van Mijnbouwkunde zou het tot dan toe duurste gebouw van de Technische Hogeschool worden, maar de begrote 510.000 gulden bleek niet genoeg. Voor het begrotingsjaar 1913 werd er aan de Tweede Kamer nog eens 56.654 gulden gevraagd voor 'onderhoud'. Dit veroorzaakte veel ergernis en nog jarenlang bleven veel vloeren kaal en muren ongeschilderd. Wat dat betreft kwam het uit dat Grutterink na de pensionering van Van Loon in 1915 beheerder van het gebouw werd. Hij was een zuinig man: tussen kerst en nieuwjaar kreeg het personeel vrij en kon de centrale verwarming uit en werd het water afgesloten tegen bevriezing van de leidingen.

Figuur 2 | Het gebrandschilderde Mekelraam in het trappenhuis. Het toont de namen van prof. Mekel en van de studenten Mijnbouwkunde, allen in de Tweede Wereldoorlog omgekomen.

De Tweede Wereldoorlog

Gedurende een groot deel van de oorlog was de universiteit gesloten en het gebouw zo goed als ongebruikt. In de meidagen van 1940 werden na het bombardement op Rotterdam tijdelijk evacuees in de faculteitsgebouwen ondergebracht. Een ander gevolg van de oorlog was dat de spreeuwen, die anders op vliegveld Ypenburg overnachtten, nu massaal hun toevlucht zochten in de tuinen rondom het gebouw. De enige schade die het gebouw te verduren kreeg was een granaatinslag op de eerste verdieping in de museumvleugel. Op een gat in de muur en wat glasscherven na was het fysieke leed te overzien. In de loop van de oorlog werden de binnentuinen gebruikt om voedsel te verbouwen en werd de grote binnentuin ook als tabaksplantage gebruikt. De tabak werd gedroogd op de zolder en vervolgens naar Den Haag gebracht om verder verwerkt te worden.

Veel stafleden en studenten waren actief in het verzet. Onder hen was professor Jan Mekel, die vanwege zijn lange baard en magere gezicht de bijnaam 'El Profeto' had. Hij had een felle haat tegen het nationaalsocialisme en al snel in de zomer van 1940 startte hij zijn inlichtingenwerk. Hij werd verraden, op 4 juli 1941 gearresteerd en op 3 mei 1942 geëxecuteerd in het concentratiekamp Sachsenhausen. Snel na de bevrijding, in de zomer van 1945, werden er alweer examens afgenomen en werden de colleges hervat. Op 3 mei 1947 werd het gebrandschilderde gedenkraam met daarop de namen van de gevallen faculteitsmedewerkers en mijnbouwstudenten onthuld. Nog ieder jaar op 4 mei komt het bestuur van de mijnbouwkunde studievereniging bijeen voor een korte herdenking bij het raam.

Figuur 3 | Op de eerste verdieping bevindt zich tegenwoordig de grote Mekelzaal, voor congressen, symposia, en andere bijeenkomsten van grote gezelschappen.

Van zalen naar kleine werkkamers

Na de oorlog werd de opleiding weer tegen het licht gehouden en dit had ook consequenties voor het gebouw. De eerste tientallen jaren had de zolder voor het grootste gedeelte leeg gestaan, maar rond 1960 was er ruimtegebrek. De opleiding maakte een omslag van een meer empirische naar een fundamentele, theoretische studie. Het museum moest de ruimtes op de begane grond ontruimen ten gunste van een nieuw scheikundig laboratorium, de grote practicumzalen werden verbouwd tot kantoren en op de ongebruikte zolders kwamen werkkamers en een tekenzaal. Daarnaast verdween het hekwerk rond het gebouw, werd de entree verbouwd, het damastenbehang verdween uit de hooglerarenkamers, de beschilderde plafonds in de bestuurskamer werden afgedekt met platen, de witkwast ging over de muren en alle deuren werden vervangen op die van de bestuurskamer na. Het gebouw en opleiding waren weer klaar voor de toekomst.

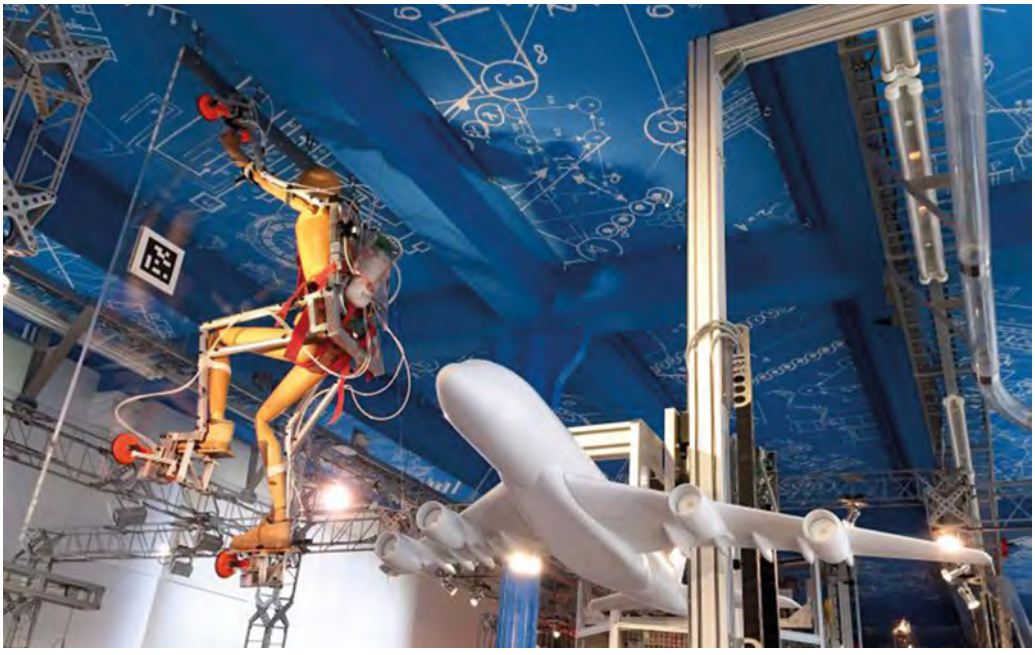
De afdeling verlaat het gebouw

Rond de laatste eeuwwisseling stond de afdeling Applied Earth Sciences zoals de voormalige faculteit Mijnbouwkunde inmiddels heette er niet goed voor. De studenteninstroom was laag, in 2002 schreven zich maar 24 nieuwe studenten in, en bij een evaluatie werd het onderzoek van Engineering Geology als onvoldoende beoordeeld. “Never let a good crisis go to waste,” zei Winston Churchill. De opleiding en onderzoeksprogramma’s werden onder handen genomen. De vernieuwing had wel als gevolg dat besloten werd om een aantal programma’s samen te voegen met die van Civiele Techniek, en om de afdeling te verhuizen naar een nieuw te bouwen vleugel aan het gebouw van Civiele Techniek aan de Stevinweg 1. In 2007 was het zover en verliet de afdeling Applied Earth Sciences het gebouw aan de Mijnbouwstraat en werd als afdeling Geotechnology gehuisvest binnen de faculteit Civiele Techniek, gelegen langs het Mekelpark.

Maar niet heel ‘Mijnbouw’ verhuisde, het gedenkraam voor de gevallenen in de Tweede Wereldoorlog en het museum – althans de kerncollectie van mineralen en ertsen– bleven achter. De sfeer van de faculteit is nog op te snuiven in de bestuurskamer en de oude koffiekamer voor docenten. Het gebouw is gerenoveerd, de kleine kamertjes verwijderd, de grote practicumzalen weer in ere hersteld.

Het majestueuze gebouw heeft een nieuwe bestemming gevonden: voor de helft is het in gebruik genomen als bedrijfsverzamelgebouw waar aan de universiteit gerelateerde, veelal startende bedrijven een plek hebben gevonden en voor de helft wordt het gebruikt door het Science Centre en een aantal erfgoedtentoonstellingen van de TU Delft. Het Science Centre laat zien wat er achter de muren van de faculteiten gebeurt en bestaat uit een interactieve tentoonstelling maar ook een aantal ‘labs’ waar bezoekers maar vooral scholieren zelf aan de slag kunnen. Daarnaast ontvangt het Science Centre veel schoolklassen voor techniekonderwijs. Op de tweede verdieping van het Science Centre zijn een aantal erfgoedtentoonstellingen ingericht: mineralen en ertsen van het voormalige Mineralogisch Geologisch Museum en het Beijerinck Museum met een collectietentoonstelling over microbiologie. In de toekomst zullen er nog andere erfgoedtentoonstellingen in dit prachtige en monumentale architectonische erfgoedobject worden gerealiseerd.

Figuur 4 | Zicht op een van de zalen van het Science Centre, waar jongeren op speelse wijze interactief kunnen kennismaken met hedendaags onderzoek aan de TU Delft.



Figuur 5 | Entree van het Science Centre Delft in het vroegere gebouw van de faculteit Mijnbouwkunde.

Paradijsvogel met vuurvogels

C.A. van Wijk

Het wonderlijke en wonderbaarlijke meubelstuk op de foto is met zijn versiering van veelkleurig houtsnijwerk een van de meest aantrekkelijke stukken in de Stoelencollectie van de faculteit Bouwkunde. Het is tegelijkertijd een van de stukken dat vele vragen opwerpt, want wat heeft deze paradijsvogel te zoeken aan de technische universiteit?

Deze stoel maakt deel uit van een groep van tien Russische folkloristische meubels (vier tafels, een bijzettafel, vier stoelen en een krukje) naar ontwerpen afkomstig uit de kunstenaarskolonie die prinses Maria Tenisjeva oprichtte in Talasjkino, in de buurt van Smolensk, in de jaren 1890. De kolonie was een manifestatie van de Russische variant op de *Arts & Crafts* met als ideëel doel het nieuw leven inblazen van de traditionele handwerktechnieken, zoals borduren en houtsnijden. In lijn met het gedachtegoed van Arts & Crafts voorman William Morris werden de arbeiders deels geschoold in de eigen werkplaats, die was verbonden aan de school voor plattelandskinderen. In 1903 kreeg de timmerwerkplaats een nieuwe artistiek directeur, Alexej Zinovjev en daarna werden de folkloristische motieven gecombineerd met minder traditionele vormen afkomstig uit de Art Nouveau.

De motieven in het snijwerk zijn gebaseerd op de Russische folklore, de gestileerde vogel op de rugleuning stelt de vuurvogel voor, in traditionele verhalen een vaak voorkomend mythisch dier. De vorm van de stoel is expressionistisch, met speelse details als de gestapelde, doorboorde kralen in de voorpoten en de wielen onderaan de doorlopende rugleuning. Het ontwerp, met name van de rugleuning, vertoont een opvallende overeenkomst met een stoelontwerp van de Schot Charles Rennie Mackintosh uit 1900.

De geschiedenis van de collectie

De stoel op de foto [1] is een mooie indicatie van de door weinigen vermoede diversiteit van het onderwijs aan de faculteit Bouwkunde, waar niet alleen de harde wetenschap vertegenwoordigd is. Al vanaf het prille begin, ten tijde van de Koninklijke Academie in 1842, werden de ingenieurs in Delft ook onderwezen in het handtekenen. Het handtekenen was namelijk een artistieke vaardigheid die voor het uitwerken en overbrengen van innovatieve ideeën door de ingenieur aan collega's en uitvoerders onontbeerlijk werd geacht.

Lange tijd werd het onderwijs in dit vak gegeven aan de hand van de methode die al in de vijftiende eeuw was ontwikkeld aan de *Accademia di San Luca* te Rome; studenten begonnen met het kopiëren van prenten, daarna tekenden ze gipsafgietsels van klassieke beelden en ornamenten en houten modellen

na, om eventueel te eindigen met het tekenen naar levend model. Het was een onderwijspraktijk die ver afstond van die in de technische vakken en de beroepspraktijk. Pas in 1894 kwam in de traditionele opzet van het handtekenonderwijs in Delft verandering, met het aantreden van een nieuwe leraar handtekenen, Abraham Frans (Bram) Gips. Gips liet zijn studenten tekenen 'naar de natuur', door het opmeten van de voorwerpen in de kunstnijverheidsverzameling, en niet langer naar prenten en afgietsels.

Figuur 1 | Ontwerp ca. 1904, Alexej Prokofjevitsj Zinovjev.
Uit de stoelencollectie van de Faculteit Bouwkunde, TU Delft.

Bij de afdeling Decoratieve Kunst, onderdeel van de afdeling Bouwkunde, was deze meer eigentijdse aanpak al eerder ingevoerd. Binnen die afdeling was een onderwijsverzameling aangelegd voor de studenten van Bouwkunde en voor de MO-akte tekenen door Adolf Le Comte, leraar Decoratieve Kunst sinds 1878. Le Comte en de professor in de Schone Bouwkunst, Eugen Gugel, hadden zich voor de opzet van het onderwijs gebaseerd op buitenlandse voorbeelden, met name het Londense South Kensington Institute. Daar werd een uitgebreide kunstnijverheidscollectie gecombineerd met een polytechnische en een kunstopleiding. Door het bestuderen en natekenen van goed ontworpen voorwerpen konden studenten zich vertrouwd maken met de eigenschappen van de toegepaste materialen en technieken. Le Comte beijverde zich om binnen de afdeling zo veel mogelijk goede voorbeelden uit binnen- en buitenland voor zijn studenten bijeen te brengen. De kunstnijverheidscollectie bevatte metaalwerk, beeldhouwwerk in hout en steen en faience. Ook bouwfragmenten werden verzameld.

De Sluytermancollectie

Theodorus Karel Lodewijk (Karel) Sluyterman, die Le Comte in 1895 opvolgde, zette het onderwijs langs de zelfde lijnen voort, en breidde de collectie nog sterk uit. Hoewel de collectie breed was opgezet, met voorwerpen van barok tot gotiek, was er relatief veel aandacht voor Hollandse Renaissance. Sluyterman was een studievriend van Gips, en ze deelden de opvatting dat de studenten om te leren ontwerpen in verschillende materialen vooral met echte voorwerpen in contact moesten komen. De kunstnijverheidscollectie werd gedurende die periode dan ook zowel voor de lessen in decoratieve kunst, als voor het handtekenen van de studenten van alle afdelingen gebruikt. Dit gecombineerde gebruik van de collectie duurde tot 1905, toen Polytechnische School werd omgezet in een Technische Hogeschool. Bouwkunde werd een afzonderlijke afdeling en Handtekenen werd ondergebracht onder Algemene Wetenschappen [2].

In 1917 verhuisde de onderafdeling Decoratieve Kunst naar een historisch pand aan de Oude Delft, Huis Portugal. Het huis werd ingericht in Hollandse Renaissance stijl met collectiestukken, en bouwfragmenten uit de onderwijscollectie werden op toepasselijke plaatsen in het pand ingemetseld.

De opvolgers van Sluyterman moderniseerden het onderwijs en de afdeling, totdat die eind jaren 1950 volledig was gericht op interieurarchitectuur en industrieel ontwerp. Daarmee was het belang van de kunstnijverheidscollectie voor het onderwijs sterk afgenomen. Later kwamen uit Decoratieve Kunst de vakgroepen Interieur, Kunstgeschiedenis en Industrieel Ontwerp voort, bij die laatste liggen de wortels van de tegenwoordige faculteit Industrieel Ontwerpen.

De vakgroep Interieur begon in 1957 met het verzamelen van de huidige stoelencollectie om de studenten Bouwkunde vertrouwd te maken met de toepassingen van materialen en technieken, met de nadruk op de vernieuwingen in de 20ste eeuw. De stoelen uit de kunstnijverheidscollectie, tegenwoordig bekend als de Sluytermancollectie, werden aan deze collectie toegevoegd toen de rest van de Sluytermancollectie verhuisde naar het depot van het Techniek Museum [2].

De herkomst

Doordat de archieven van de Bouwkundecollecties indertijd niet goed zijn bijgehouden, is niet bekend hoe deze set van Talasjkino precies is verworven. Lange tijd werd aangenomen dat de meubels in Rusland waren aangeschaft. De publicatie van de nieuwe catalogus van de Stoelencollectie bracht ons onverwacht nieuwe kennis over deze objecten. Een kenner uit Moskou (J. Oser, zie [3]) nam contact op met het verzoek de meubels te mogen onderzoeken, en wist een tip van de sluier op te lichten. Er zijn sterke aanwijzingen dat het in Nederland vervaardigde kopieën zijn, naar voorbeeld van foto's in een publicatie over de producten van de kunstenaarskolonie uit 1906 [4]. Zo is de houtsoort afwijkend van de in de kolonie zelf vervaardigde meubels, en zijn de decoraties aan de op de foto's niet zichtbare zijde afwijkend van de in de kolonie gebruikelijke Russische folkloristische motieven. De in Rusland vervaardigde stoelen droegen, naar de ervaring van Oser, ook een eigen stempel die bij de Delftse meubels ontbreekt.

Gezien het beperkte budget waarmee Sluyterman werkte lijkt het eigenlijk onwaarschijnlijk dat hij zelf tien meubels ineens heeft laten kopiëren. Veel van de stukken werden verworven door donaties van particulieren, dus wellicht ook deze set. Het zou mooi zijn als ook deze publicatie nieuwe informatie oplevert, want het verhaal van de stoel is niet compleet zolang de details van verwerving ontbreken.

CIVIELE TECHNIEK EN GEOWETENSCHAPPEN (CiTG)

De spoorbrug bij Culemborg

W. Ankersmit

Inleiding

Bij het ontwerp van spoorbruggen over grote rivieren, waarmee in Nederland in het midden van de negentiende eeuw werd begonnen, namen Delftse ingenieurs een vooraanstaande positie in. Van de 27 rivierovergangen, die tussen 1850 en 1900 werden gerealiseerd werden er slechts twee door buitenlandse ingenieurs ontworpen.

Ongehinderde afvoer van kruiend ijs en doorgang van de scheepvaart vroegen om vrije doorvaarthoogtes en de afwezigheid van obstakels zoals pijlers in het rivierbed. Daarvoor waren vrije overspanningen nodig van een tot dan toe ongeëvenaarde lengte. Die gaven aanleiding tot twijfel aan de realisatie van dergelijke bruggen ook vanwege de hoge kosten.

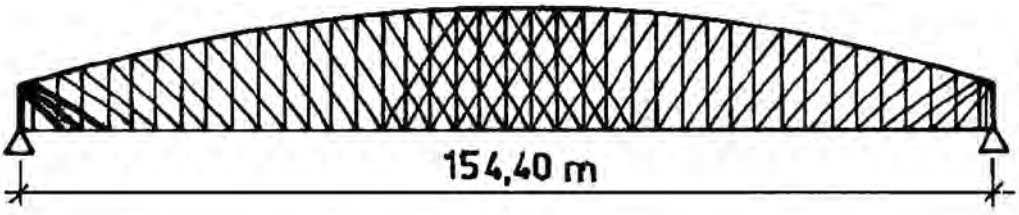
In de Spoorwegwet van 1860 werd vastgelegd dat Nederland van een aaneensluitend spoorwegnet zou worden voorzien. De verbinding tussen Utrecht, Culemborg, Zaltbommel en 's-Hertogenbosch was één van de lijnen die het noorden met het zuiden zouden gaan verbinden. In dit tracé was de tot voor kort onmogelijk geachte overbrugging van de Lek bij Culemborg opgenomen.

Door buitenlandse ontwikkelingen te volgen durfden de Rijkswaterstaatingenieurs uiteindelijk deze overbrugging aan. In 1859 reisden ir. G. van Diesen en ir. J.L Schneitter in opdracht van de minister van Binnenlandse zaken naar Duitsland en Zwitserland om de stand van de techniek daar te bestuderen. Hun belangstelling ging vooral uit naar de brug over de Weichsel bij Dirschau (bij Gdansk), omdat daar de ijsgang en de fluctuatie van de waterstand nog groter waren dan in Nederland. Als die omstandigheden daar geen problemen veroorzaakten, dan zouden die dat in Nederland ook niet doen.

Ontwerp en constructie van de brug

Het traject Utrecht-'s-Hertogenbosch, waarin de Lek, de Waal en de Maas overbrugd moesten worden, wordt toegewezen aan Van Diesen en Schneitter. Na de dood van Schneitter in 1861 wordt hij opgevolgd door J.A. Kool. Kool is verantwoordelijk voor het gehele traject terwijl de secties met de oeververbindingen aan Van Diesen toevallen. Gerrit van Diesen was één van Nederlands belangrijkste ingenieurs. Hij volgde van 1844 tot 1848 de opleiding tot civiel ingenieur aan de Koninklijke Academie te Delft.

Het ontwerp van de overbrugging van de Lek bij Culemborg zag er als volgt uit: vanaf de Noorder Lekdijk een aardenbaan van 235 meter, vervolgens zeven openingen van 57 meter over de uiterwaard. Dan volgde een opening van 80 meter over het ondiepe deel van de rivier. Tenslotte de grote opening van 150 meter. Omdat Rijkswaterstaat helemaal geen pijlers in het rivierbed wenste, was daar een brug met een effectieve overspanning van 154 meter noodzakelijk. Een dergelijke brug was nog nergens gebouwd. Na het landhoofd op de zuidelijke oever kwam dan nog een 40 meter lange spoordijk tot aan de Zuidelijke Lekdijk.



Figuur 1 | Afgestompte paraboolligger spoorbrug Culemborg (hoofdoverspanning).

Het bestek voor de grondwerken en de bouw van de pijlers wordt openbaar gemaakt in december 1862. P. Quant, aannemer te Amsterdam wordt het werk gegund. Hij schrijft in voor *f* 893 000. Het heien voor de landpijlers begint in juni 1863 en in maart 1864 is men gevorderd tot het noordelijke landhoofd. Eind 1865 is de bouwput voor de rivierpijler gereed. Intussen is de constructie van de pijlers begonnen. Midden december 1865 is het betonstorten voltooid. In totaal is bijna 10 000 m^3 beton gestort. Daarna begint het opmetselen van de pijlers.

Voor van Diesen vormt het ontwerp en de constructie van de metalen bovenbouw de grootste uitdaging. Hij maakt hierbij gebruik van een noviteit, de vakwerkconstructie, waarvan hij kennis had genomen tijdens een tweede studiereis naar Duitsland in 1861. Hierbij verleent een stelsel van verticale en diagonale staven de hoofdliggers van de brug sterkte. In Nederland is in 1864 de IJsselbrug bij Zutphen als eerste volgens dit principe gebouwd. Ook de gebogen vorm van de bovenrand van de hoofdligger is iets nieuws. Dit maakt een eenvoudige en lichtere constructie mogelijk. Van Diesen combineert de vakwerkligger met de gebogen (parabool)vorm tot de zgn. afgestompte paraboolligger.

De totale lengte van de brug bedraagt 157 meter (over de opleggingen 154,40 meter), de hoogte van de hoofdliggers is aan de uiteinden 8 meter, in het midden 20 meter; de vrije breedte binnen de brug bedraagt 8 meter. Het totale gewicht is berekend op ongeveer 2150 ton.

Bij de eerste berekeningen blijkt dat de brug niet veel meer zal kunnen dragen dan zijn eigen gewicht. Daarom besluit men gebruik te maken van een nieuw materiaal, Bessemerstaal, dat nog maar kort beschikbaar is. Dit zou een aanzienlijke gewichtsbesparing opleveren. Maar er is nog geen ervaring

met dit materiaal opgedaan. Van Diesen besluit alleen die delen van de brug in staal uit te voeren, die makkelijk te vervangen zijn.

De laagste inschrijver op de openbare aanbesteding voor de metalen bovenbouw, die op 18 januari 1866 plaatsvindt, is J.C. Harkort uit Duisburg voor een bedrag van *f* 1. 814.000,-. Harkort had ook de genoemde spoorbrug bij Zutphen gebouwd.

Harkort besteedt wegens capaciteitsproblemen de bouw van de brug van 80 meter en de drie bruggen van 57 meter uit aan Jacobi, Haniël en Huysen te Sterkrade bij Oberhausen, de latere Gutehoffnungshütte. De 80 meter brug voor is voor Kerstmis 1866 gereed en de gebruikte houten steiger wordt dan verwijderd. Daarna wordt de houten steiger voor de brug van 157 meter in de grootste rivieropening geplaatst. Deze steiger, waarin 2300 m^3 hout en 50 m^3 ijzer is verwerkt, is op zichzelf al een technisch hoogstandje.

In juli 1867 wordt met de montage van de brug begonnen. De brugonderdelen worden per schip naar Culemborg vervoerd. Harkort blijkt met grote precisie te hebben gewerkt. Alle gaten passen perfect en het klinken verloopt zeer vlot. Eind november 1867 wordt de laatste nagel geklonken. Onmiddellijk daarna begint men met het afbreken van de hulpsteiger, die voor de winter uit het rivierbed moet zijn verwijderd. Afwerken, schilderen en spoorleggen vindt plaats gedurende de winter en het voorjaar van 1868.

Op 25 en 28 mei 1868 worden met locomotieven en wagens van de Nederlandse Rhijnspoorweg testritten over de brug gemaakt. De doorbuigingen vallen binnen de toelaatbare grenzen. De klus is geklaard.

Met name de hoofdoverspannning gold als een wonder van technisch vernuft. Gedurende enkele jaren was het de grootste overspanning ter wereld. De Delftse ingenieurs oogstten hiermee ook internationaal veel lof.

Duizenden bezoekers uit binnen en buitenland bezichtigden dit technische hoogstandje bij Culemborg en verbaasden zich over het feit dat in Nederland dat tot dan bekend stond als een land waarin alles vijftig jaar later gebeurde, nu zulke wonderwerken plaatsvonden.

Van Diesen kreeg voor zijn rol bij de realisatie van de brug bij Culemborg de eremedaille van de wereldtentoonstelling van 1873 in Wenen. De vakwerkligger met gebogen bovenrand werd de gebruikelijke constructie voor spoorbruggen met een grote overspanning, zoals de Moerdijkbrug ,de bruggen over de Waal bij Nijmegen en Zaltbommel en over de Maas bij Hedel.

Eén van de voordelen van de vakwerkligger was dat de krachtsverdeling in de staven relatief makkelijk grafisch te bepalen was, zoals bijvoorbeeld m.b.v. het Cremonadiagram. Dit diagram werd eind negentiende eeuw door de Delftse hoogleraar waterbouwkunde N.H. Henket aan de Polytechnische School geïntroduceerd.

De brug bij Culemborg fungeerde meer dan een eeuw als vitale verbinding voor het personen- en goederenvervoer tussen Noord- en Zuid-Nederland en droeg daarmee bij aan de ontwikkeling van het moderne Nederland. De brug leek haast voor de eeuwigheid gebouwd. Gedurende de Tweede Wereldoorlog is de brug tot driemaal toe aan vernietiging ontsnapt. Na vermoeiingsonderzoek in 1967 en 1973, uitgevoerd door het Stevin Laboratorium van de Technische Hogeschool Delft, werd de brug nog voor minstens tien jaar gegarandeerd mits er enige beperkende maatregelen ten aanzien van het treinverkeer zouden worden genomen. Versterkingen bleken bovendien noodzakelijk, om de gevolgen van roestvorming te compenseren.

De Nederlandse Spoorwegen besloot in 1973 op basis van de onderzoeksresultaten de gehele brug vervangen. Een nieuwe stalen brug werd in 1982 op de oude pijlers geplaatst. De ijzeren uiterwaardbruggen werden vervangen door betonnen bruggen en konden zonder bezwaar eveneens op de oude pijlers worden geplaatst.

TU Erfgoed objecten m.b.t. de spoorbrug bij Culemborg

Model

In het Stevin laboratorium van de Technische Universiteit Delft bevindt zich een fraai model van de spoorbrug over de Lek bij Culemborg. Het is een houten halfmodel met spiegelwand. Kijkend langs het model in de spiegel, ziet men de gehele brug. Het model is gebruikt voor onderwijsdoeleinden.

Figuur 2 | Houten model van de spoorbrug bij Culemborg.

Schilderij

In de tweede helft van de negentiende eeuw werden naar aanleiding van de succesvolle afronding van grote projecten in opdracht van Rijkswaterstaat schilderijen vervaardigd van de betreffende kunstwerken. Zo ook van de spoorbrug over de lek bij Culemborg. Dit schilderij van Christiaan Cornelis Kannemans (1827-1884) hangt in de Huygens kamer van het gebouw van Het Koninklijk Instituut van Ingenieurs aan de Prinsessegracht in Den Haag.

Kannemans was een bekend schilder van zeegezichten in de negentiende eeuw. Tevens was hij leraar handtekenen aan de Koninklijke Militaire Academie te Breda.

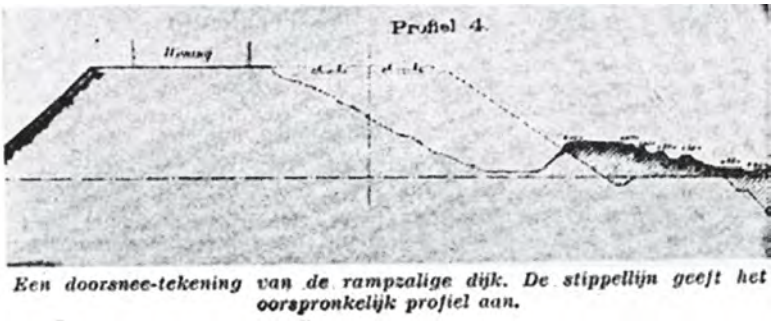
Figuur 3 | De spoorbrug bij Culemborg, olieverfschilderij van Christiaan Cornelis Kannemans (1875).

Triaxiaalapparaat

W. Ankersmit

Treinongeval bij Weesp vrijdag 13 september 1918

Op vrijdag 13 september 1918 om 10.10 uur vertrekt de sneltrein van Amersfoort naar Amsterdam uit Hilversum. De trein bestaat uit locomotief en elf rijtuigen. Om ongeveer 10.30 uur rijdt de trein met een snelheid van 55 à 60 km/uur de helling op naar de brug over het Merwedekanaal. Wanneer de locomotief zich net op de brug bevindt, begint het spoorbaantalud over een lengte van ongeveer 95 meter volledig te verzakken.



Een doorsnee-tekening van de rampzalige dijk. De stippellijn geeft het oorspronkelijk profiel aan.

Figuur 1 | Doorsnede van de spoordijk bij Weesp na de ramp in 1918.
(Bron: De Gooi en Eemlander, 7 september 1968.)

De locomotief kantelt naar rechts en blijft hangen in het ijzerwerk van de brugconstructie. De tender kantelt eveneens naar rechts en blijft liggen op het landhoofd, een bagagewagen daarachter komt tegen het landhoofd tot stilstand. De volgende drie rijtuigen zakken van het talud af en schuiven in en op elkaar. Het derde rijtuig wordt bovendien bedolven door een daarachteraan gekoppelde bagagewagen en een postrijtuig, die gedeeltelijk naast de voorgaande rijtuigen terechtkomen. Het rijtuig achter het postrijtuig komt schuin vanaf het talud omlaag te hangen. De laatste rijtuigen van de trein ontsporen wel, maar blijven overeind.

De stationschef van Weesp slaat om 10.45 uur alarm. Een toevallig in de trein aanwezige chirurg verleent de eerste hulp, spoedig geassisteerd door twee toegesnelde artsen uit Weesp. Ook vier in de trein aanwezige nonnen en militairen van het tweede bataljon van het vierde regiment infanterie uit Naarden die toevallig in de buurt aan het marcheren zijn, komen te hulp. Onder het spoorwegpersoneel zijn geen slachtoffers gevallen, ook zij verlenen hulp. Om 11.40 uur arriveert de eerstehulptrein uit

Naarden-Bussum, vervolgens komen ook ongevallenwagens en rijtuigen voor gewondenvervoer uit Amsterdam, daarna ook nog een Rode Kruistrein. Om 12.40 uur kunnen de eerste gewonde en ongedeerde treinreizigers naar Amsterdam vertrekken. Ongeveer twee en een half uur na de ramp komen om omstreeks 13.00 uur de eerste gewonden met een hulptrein aan bij het Amsterdamse Muiderpoortstation en worden vandaar naar het Onze Lieve Vrouwe Gasthuis getransporteerd. Twee op het Merwedekanaal passerende schepen worden aangehouden en vervoeren gewonden naar het Binnengasthuis te Amsterdam. Om 13.30 uur vertrekt een sleepboot met twee schepen en 36 gewonden naar Amsterdam, een half uur later een schip met 32 lijken. Om 16.00 uur komt het schip bij het Wilhelmina Gasthuis aan. Met 41 doden en 42 gewonden was dit de grootste treinramp in de Nederlandse geschiedenis tot 1962, toen de treinramp in Harmelen plaatsvond.

Figuur 2 | 13 september 1918, treinongeval bij Weesp door bezwijking van de spoordijk bij het Merwedekanaal. *(Bron: Spoorwegmuseum.)*

Onderzoek naar oorzaken van de treinramp

De dag na de ramp werd een commissie van onderzoek ingesteld onder voorzitterschap van de minister van Waterstaat dr.ir. C. Lely. Volgens de onderzoekscommissie was de belangrijkste oorzaak de hoge grondwaterstand in het dijklichaam, door een gemakkelijke toevoer van water uit het kanaal, door uitzonderlijk grote regenval en doordat drainage steeds moeilijker was geworden door samendrukking van de slappe lagen onder het zandlichaam van de dijk. Er werden aanbevelingen

gedaan, onder andere tot verbetering van de drainage en vermindering van de toestroming van water uit het Merwedekanaal. Er bleek echter ook een groot gebrek aan kennis van de grondmechanica. Daarom stelde het Koninklijk Instituut van Ingenieurs de "Commissie voor Bouwgrondonderzoek" in, weer onder voorzitterschap van Lely, en met als een van de leden ir. A.S. Keverling Buisman.

Albert Sybrandus Keverling Buisman (1890-1944) heeft als geen ander bijgedragen aan de ontwikkeling van de grondmechanica in Nederland. Voor een uitgebreide beschrijving van zijn leven en werk zij verwezen naar het aan hem gewijde hoofdstuk in *Delfts goud. Leven en werk van achttien markante hoogleraren*. Keverling Buisman werd zelf voorzitter van de subcommissie "ter bestudering van de theoretische vraagstukken betreffende het draagvermogen van bouwgrond". In andere landen werden toen soortgelijke studiecommissies ingesteld, ook naar aanleiding van ernstige ongelukken. Buisman en zijn commissie concludeerden dat het vooral ontbrak aan een systematisch onderzoek naar de "wetmatigheden die de vervormingen in de grond beheersen" en naar de inpassing daarvan in de mechanica.

Theorie van de grondmechanica

De theorie van Coulomb was in die tijd de enige theorie die stoelde op een aanvaardbaar natuurkundig model. Coulomb nam aan dat grond zou gaan afschuiven wanneer de schuifspanning een bepaalde waarde overschrijdt. Deze maximaal toelaatbare schuifspanning τ is een functie van de cohesiefactor van de grond C, de normale drukspanning σen de inwendige wrijvingshoek van de grond ϕ. De relatie tussen τ en σ is lineair.

De grondmechanica bleef een zeer ambachtelijk vak totdat Karl Terzaghi in 1925 een nieuw tijdperk inluidde met zijn boek: "*Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*". De splitsing van de spanningen in waterspanningen en effectieve spanningen werd door Terzaghi aangegeven, evenals een aantal basisprincipes van het vervormingsgedrag van grond, zoals het verschillende gedrag bij samendrukking en bij afschuiving. Daarbij werd de theorie van Coulomb gecombineerd met de spanningscirkel van Mohr waardoor de kritieke spanningstoestand van grondmonsters kan worden bepaald. Een punt van de cirkel van Mohr geeft de normaalspanning en de schuifspanning op een vlakje aan. Als men in een enkele figuur zowel de boven beschreven relatie van Coulomb uitzet en bovendien de klassieke cirkel van Mohr, dan kan men bepalen of het grondmonster zal bezwijken . Immers, als de bovenstaande lineaire grafiek van Coulomb de cirkel van Mohr raakt, is de spanningstoestand kritiek en staat het monster op punt van bezwijken (dit is het bezwijkcriterium van Mohr Coulomb). Door twee verschillende kritieke spanningstoestanden proefondervindelijke te bepalen, kan men door de beide raakpunten te verbinden grafisch de inwendige wrijvingshoek ϕ en de cohesie factor C van het grondmonster bepalen.

Ontwikkeling van de grondmechanica in Delft

Met behulp van de principes van Terzaghi concentreerde Keverling Buisman zich, naast de bestudering en ontwikkeling van de theorie, vooral op de ontwikkeling van apparatuur. Omdat de TH daar geen geld voor had, financierde Keverling Buisman veel uit eigen middelen. De uit simpele onderdelen samengestelde apparatuur stond in zijn huis in Den Haag opgesteld. Pas in 1931 kwam er in het Gebouw voor Weg- en Waterbouwkunde aan het Oostplantsoen in Delft ruimte beschikbaar voor een laboratorium. Dat voorzag in een grote behoefte, ook bij overheid en bedrijfsleven. Daarom werd het in 1934 verzelfstandigd, tot "Laboratorium voor Grondmechanica". Op die manier kon het geven van adviezen aan de bouwpraktijk worden gescheiden van de universitaire taken, en konden inkomsten worden verworven. Keverling Buisman bedong wel dat de hoogleraren van de Technische Hogeschool, en de studenten, gebruik mochten maken van de voorzieningen van het Laboratorium. Het was nog tot 1955 gevestigd in de kelder van het gebouw voor Weg- en Waterbouwkunde. Het laboratorium stond vanaf 1986 bekend als Grondmechanica Delft en vanaf 1999 als GeoDelft. In 2008 is GeoDelft overgegaan in het instituut Deltares.

Een van de belangrijkste apparaten die Keverling Buisman ontwikkelde was het celapparaat, voor de bepaling van de draagkracht van grond. Het celapparaat bestaat uiteen glazen cel, waarin het grondmonster is geplaatst, omringd door een rubbervlies en het water in de cel (figuur 3). De celdruk werkt alleen op het cylindrische zij-oppervlak van het monster.

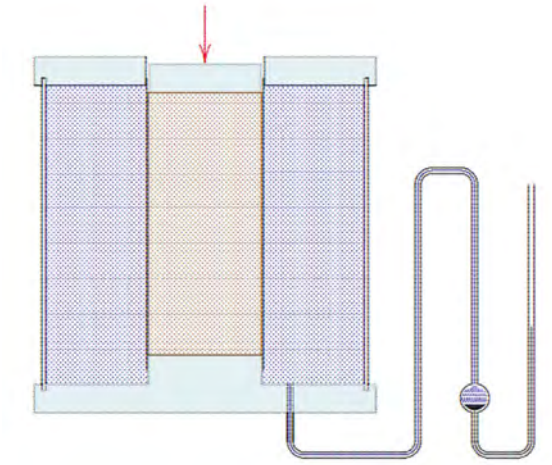
Verder is er de mogelijkheid een extra verticale belasting op het monster aan te brengen door middel van gewichten. Door de druk van het water in de cel geleidelijk te verlagen, door het aftappen van enig water, kan het monster geleidelijk tot op de rand van bezwijken worden gebracht.

Later, na de Tweede Wereldoorlog, is het celapparaat in Engeland door Bishop en Henkel verbeterd tot wat thans bekend staat als het triaxiaalapparaat.

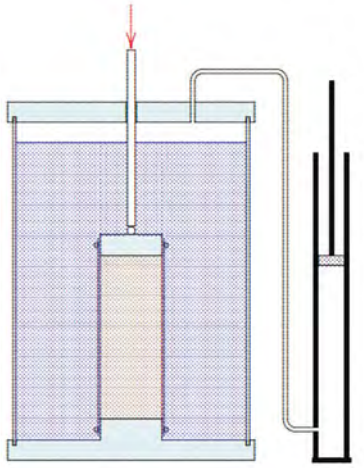
In tegenstelling tot het celapparaat, waarbij de celdruk alleen op het cilindrische zijoppervlak drukt, werkt bij het triaxiaalapparaat de celdruk zowel op de zijkant van het monster als op de bovenkant (Figuur 4). Bij het triaxiaalapparaat wordt een cilindrisch grondmonster binnen een glazen of kunststof cel geplaatst, omringd door een rubber vlies. Het vlies wordt afgesloten van de celruimte. De cel wordt gevuld met water. De druk wordt geregeld via een verbinding met een drukcel. Het monster kan ook nog door een verticale kracht worden belast via een verticale stang door de bovenkant van de cel. Het apparaat wordt triaxiaalapparaat genoemd omdat in drie richtingen een spanning werkt.

Met het triaxiaalapparaat kan men de hoek van inwendige wrijving en de cohesie van grondmonsters bepalen. Voor verschillende bezwijkspanningstoestanden zijn verschillende monsters nodig (in tegenstelling tot het celapparaat). Men doet twee proeven met twee monsters van hetzelfde materiaal onder verschillende horizontale en verticale drukken. In beide gevallen bepaalt men de kritieke spanningstoestand. Door in de beide bij de bezwijktoestand behorende cirkels van Mohr de

omhullende raaklijn te tekenen kan de hoek van inwendige wrijving en de cohesie grafisch bepaald worden.



Figuur 3 | Cel apparaat [8].



Figuur 4 | Het triaxiaal apparaat [8].

De triaxiaalproef vormt een essentieel onderdeel van het onderzoek naar het draagvermogen van grond en draagt ertoe bij dat rampen als bij Weesp vrijwel tot het verleden behoren.

Generaties naoorlogse studenten Civiele Techniek hebben practicum verricht met triaxiaalapparaten tijdens hun studie in Delft, zoals met het apparaat dat in Figuur 5 is afgebeeld en door TNO werd vervaardigd.

Na de oorlog werd het werk van Keverling Buisman in Delft voortgezet onder de leiding van o.a. de hoogleraren prof. ir. E.C.W.A. Geuze (1951-1960), prof.dr.ir. J. De Josselin de Jong (1961-1980), prof.dr.Ir. A. Verruijt (1976-2002), prof.dr.ir. F. Molenkamp (2002-2008) en prof dr. M.A. Hicks (2009-heden).

Figuur 5 | Triaxiaal apparaat van het TNO.

De Romijn meetoverlaat

M.W. Ertsen en W. Ankersmit

Inleiding

In Nederlands-Indië brachten Delftse ingenieurs in de negentiende en twintigste eeuw vele infrastructurele werken tot stand. Naast (spoor)wegen, havens en stedelijke voorzieningen maakten irrigatiewerken deel uit van deze infrastructuur. De eerste door Nederlandse ingenieurs aangelegde irrigatiewerken stammen uit de eerste helft van de negentiende eeuw. De aanleg kwam pas echt op gang in de tweede helft van de negentiende eeuw. Het Nederlands-Indische Departement van Burgerlijke Openbare Werken werd in 1854 opgericht. Vanaf 1888 ontstonden er Irrigatieafdelingen voor exploitatie en onderhoud. In 1890 kwam een Algemeen Irrigatieplan voor Java gereed. Van de 19 projecten waren er in 1910, 16 uitgevoerd. Gedurende de Eerste Wereldoorlog lag het werk aan nieuwe irrigatiewerken stil. Vanaf 1920 werden nog verscheidene grote irrigatieprojecten gerealiseerd, zoals in de Krawang-vlakte vanuit de Citarumrivier.

In de beginperiode dienden koloniale ingrepen in irrigatie vooral voor de productie van handelsgewassen (suikerriet en indigo) in het kader van het cultuurstelsel. Rijst werd ook geïrrigeerd, maar grotere Nederlandse aandacht voor dit gewas kwam pas in 1901 met de "Ethische Politiek" naar aanleiding van de eufemistisch genoemde "mindere welvaart van de inheemsche bevolking" en het idee dat Nederland een "ereschuld" had in te lossen aan deze bevolking. Deze politiek wilde de levensomstandigheden van de Javaanse bevolking verbeteren door "irrigatie, emigratie [van Java naar de buitengewesten] en educatie" (zoals geformuleerd door C. Th. van Deventer – later kwam daar nog elektrificatie bij).

De Romijn meetoverlaat

In 1932 publiceerde de Delftse ingenieur Donald George Romijn zijn artikel *Een regelbare meetoverlaat als tertiaire aftapsluis* in de Waterstaatsingenieur. Deze overlaat is bekend geworden als de Romijnoverlaat. Het is de meest succesvolle meetinrichting uit de Nederlands-Indische irrigatiepraktijk.

Romijn werd op 20 september 1903 in Den Haag geboren. Hij studeerde in 1927 af als civiel ingenieur aan de TH in Delft en werkte van 1929 tot 1942 in Nederlands-Indië. Terug in Nederland, na de Tweede Wereldoorlog, was hij tot 1957 verbonden aan de HTS in Haarlem als leraar waterbouwkunde. Hij schreef onder meer het *Technisch vademecum bouwkunde en weg- en waterbouwkunde* (met G.L. Ludolph; 1956). In 1957 werd hij directeur van de HTS-Afdeling voor Bouwkunde aan de Koninklijke Academie

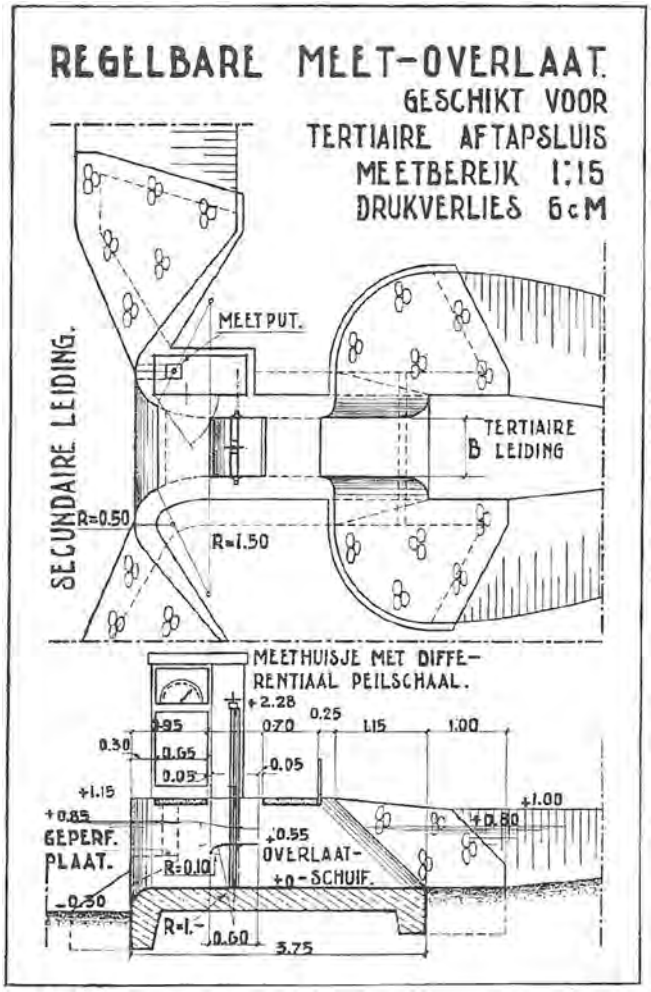
van Beeldende Kunsten in Den Haag en bleef dat tot zijn pensionering in 1968. Hij overleed in Voorschoten op 19 juni 1997.

De Romijn-overlaat is een meet- en regelwerk voor irrigatiewater. De noodzaak voor meten en regelen van water op Java werd al in de tweede helft van de negentiende eeuw gedefinieerd. Het kunnen meten en regelen van de waterverdeling tussen velden met rijst en suikerriet werd om drie redenen van groot belang geacht. Ten eerste hadden beide gewassen verschillende groeiperiodes. Rijst werd voornamelijk verbouwd en geïrrigeerd in de natte Westmoesson (oktober-maart); suikerriet stond drie jaar op een veld, maar hoefde alleen geïrrigeerd te worden in de droge Oostmoesson (april-september). Ten tweede bezaten de suikerondernemingen geen eigen velden, maar huurden ze die van Javaanse grondbezitters. Ieder jaar werd suikerriet op oude velden geoogst en op nieuwe aangeplant. Hierdoor veranderde de plaats van suikerriet ieder jaar. Ten derde eiste de koloniale staat maximale oogst per veld. De drie factoren samen betekenden in de praktijk dat de waterbehoefte van ieder veld zo exact mogelijk moest worden gevolgd, maar dat de waterbehoeften van (groepen) velden ieder jaar anders was.

Hiermee ontstond de noodzaak om waterstromen op ieder moment te kunnen variëren en de hoeveelheid te kunnen meten (regelen en meten). De Nederlandse ingenieurs gingen op zoek naar meetinrichtingen waarmee waterstromen konden worden geregeld en gemeten, overigens zonder veel centrale sturing. In 1926 stelde ir P. de Gruyter voor om een Brits-Indische overlaat van E.S. Crump aan te passen aan Nederlands-Indische omstandigheden, maar vanwege het aanzienlijke benodigde verschil in waterhoogte boven en beneden de stuw (verval) in deze constructie, werd dat idee niet enthousiast ontvangen. De vlakke noordkust van Java, waar de meeste nieuwe irrigatiewerken lagen, kende namelijk een gering natuurlijk verval. Ir S.H.A. Begemann introduceerde in 1923 de succesvolle venturimeter. Dit instrument was accuraat en functioneerde zelfs met weinig verval. Wel was het meetbereik relatief klein en de meter reageerde op de waterstand achter het kunstwerk. Zo konden Javaanse boeren (of suikerfabrikanten) de doorstroming van water beïnvloeden, wat niet de bedoeling was.

In het in 1927 in gebruik genomen Waterloopkundig Laboratorium in Semarang probeerde men het probleem van deze achterwaterstand op te lossen. Een van de opties werd voorgesteld door ir. A.L. Verwoerd: een extra regelwerk in de vorm van een brede overlaat achter de venturi zou het probleem oplossen. Dat werkte goed, maar waarom zou men dan nog een venturimeter voor de brede overlaat willen gebruiken? De overlaat zou het regelen en meten net zo goed alleen kunnen doen. Het was het experiment met de overlaat als enkelvoudig meet- en regelwerk dat Romijn uitvoerde en dat hem zo bekend maakte. De venturi kon inderdaad weggelaten worden en Romijn kon zijn artikel publiceren. De Romijn-overlaat kon meten en regelen door de overlaat naar boven of beneden te draaien, had een klein verval en was nagenoeg onafhankelijk van de waterstand achter het kunstwerk. Een groot voordeel van de overlaat was dat het bepalen van enkel de waterhoogte boven de overlaat volstond om de afvoer te kunnen bepalen, gegeven de eenduidige relatie tussen waterhoogte en afvoer. Het probleem dat iedere belanghebbende de schuif zou gaan verzetten werd opgelost door

de overlaat in een meethuisje te plaatsen (zie figuur 1). In deze figuur is ook te zien hoe de Romijn-overlaat in een tertiaire aftapsluis is geplaatst. Het water stroomt van de secundaire leiding via de aftapsluis en de Romijn-overlaat in de tertiaire leiding.



Figuur 1 | De Romijn-overlaat in een tertiaire aftapsluis [7].

De Romijn-meetoverlaat in Delft

De Indische Waterstaat was van oudsher sterk verbonden met de Delftse ingenieursopleiding. In 1874 werd het Delftse diploma verplicht gesteld voor een functie bij de Indische Waterstaat. In die periode ging 25 tot 30% van alle Delftse afgestudeerden naar Indië. In 1906 kwam er een leerstoel irrigatie gericht op Nederlands-Indië in Delft. Een overzicht van hoogleraren irrigatie in Delft is

gegeven in tabel 1. Na de onafhankelijkheid van Indonesië werden Nederlandse ingenieurs actief in irrigatieprojecten elders, waarbij zij hun Nederlands-Indische kennis meebrachten. Mede daarom bleven zowel de positie van hoogleraar als de specialisatie in irrigatie in Delft overeind. Aanstaande irrigatie-ingenieurs ontvingen een opleiding die sterk gekleurd bleef door Nederlands-Indische ervaringen. Zij kwamen de Romijn-overlaat, die pas na 1945 onderdeel werd van het irrigatiecurriculum in Delft, nadrukkelijk tegen.

Figuur 2 | Model van de Romijn-meetoverlaat.

Het object dat in dit artikel beschreven wordt (figuur 2) is dan ook een model van een Romijn-overlaat dat lang in het Delftse onderwijs is gebruikt. De meetinrichting is te zien op de foto aan de linkerkant. Die beweegt mee met de stuw als die verschoven wordt.

Met name in de ontwerpopdrachten vinden we de overlaat terug. Tot het irrigatiecurriculum behoorde een irrigatie-ontwerp. De meeste ontwerpen werden gebaseerd op een oorspronkelijk Nederlands-Indische situatie, maar het belang van de Nederlands-Indische wortels van de Delftse opleiding – en de grote (symbolische) rol van de Romijn-overlaat – blijkt met name uit de niet-Indonesische ontwerpen. In ontwerpen van systemen in Tanzania, Ethiopië, Syrië en Nigeria, gebruikten vrijwel alle studenten Romijn-overlaten. Soms werd een Romijn-overlaat niet toegepast, omdat er toch voldoende verval beschikbaar was.

Niet alleen in Delft bleef de Romijn-overlaat lang een hoeksteen van de irrigatiepraktijk. In Indonesië wordt het verdeelwerk nog steeds gebruikt; tot voor kort was het zelfs expliciet voorgeschreven in ontwerphandboeken. Ook in Nederland werd de Romijn-overlaat toegepast. Het ingenieursbureau Van Hasselt en De Koning was betrokken bij het ruilverkavelingsprogramma in de Betuwe in de eerste tien jaar na de Tweede Wereldoorlog, waar Romijn-overlaten in poldersloten werden gebruikt. Tenslotte werd de Romijn-overlaat door het Hydraulisch Laboratorium in Delft omgevormd tot de zogenaamde Hobrad-stuw. Pas sinds het eind van de twintigste eeuw is het Delftse irrigatie-onderwijs zo veranderd dat er geen overheersende herkenbaarheid van de Nederlands-Indische irrigatiebenadering meer is.

Tabel 1 | Overzicht van hoogleraren irrigatie in Delft (1906- 2005).

Periode	Naam	Opmerkingen
1906-1910	P.T.L. Grinwis Plaat	Bijzonder hoogleraar vanaf 1908
1910-1911	A.G. Lamminga	
1912-1913	W. Elenbaas	
1913-1919	C.W. Weijs	Gewoon hoogleraar vanaf 1917
1919-1938	J. Haringhuizen	Eerste nieuw benoemde gewoon en voltijds hoogleraar
1938-1954	S.H.A. Begemann	Combineerde irrigatie en waterkracht
1954-1966	F.M.C. Berkhout	
1966-1984	H.J. Schoemaker	Startte als bijzonder hoogleraar, vervolgens gewoon hoogleraar
1985-2005	R. Brouwer	Startte als bijzonder hoogleraar, vervolgens gewoon hoogleraar

Het zonneprisma van Roelofs: Delfts vernuft en fabrikaat

L. Aardoom

Tegenwoordig bieden kunstmatige satellieten – GPS in het bijzonder – hulp bij de plaatsbepaling op aarde. Tot ver in de 20ste eeuw vervulde de sterrenhemel die rol als er op aarde geen referentiepunten beschikbaar waren. Landmeters moesten dan gebruik maken van de methoden van de geodetische astronomie, onder meer door gebruik te maken van de zon. Tegenover het voordeel van de beschikbaarheid van dit oriëntatiepunt overdag, stond het nadeel van de grote lichtsterkte en de niet te verwaarlozen afmeting. De verblindende lichtsterkte kon worden getemperd met filters, maar de diameter van de zonneschijf, die over het jaar varieert, bleef een nauwkeurige bepaling van het middelpunt bemoeilijken. Om de precisie waarmee onder veldomstandigheden op 'gewone' puntvormige sterren kon worden gemeten te benaderen, werden in de loop der tijd diverse instrumentele oplossingen aangedragen.

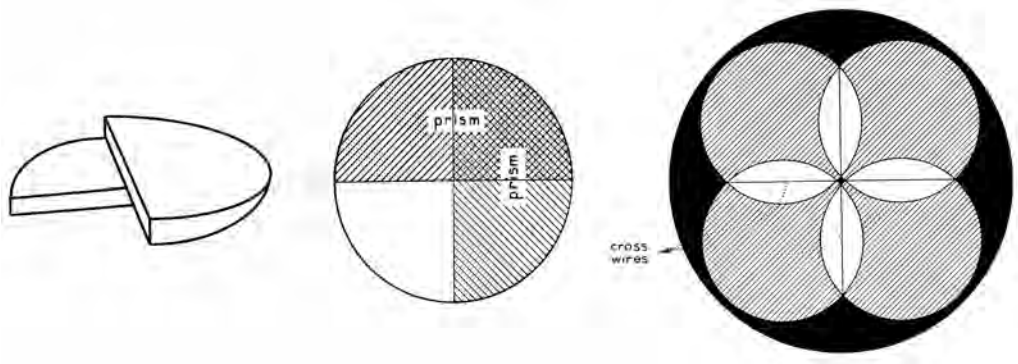
In de jaren 1929-1935 had ook landmeter R. Roelofs (1905-1987), werkzaam in toenmalig Nederlands Oost Indië, genoemde moeilijkheid ondervonden. In 1947 – hij was intussen bij de TH Delft hoogleraar in "de landmeetkunde, het waterpassen en de geodesie" – kwam hij met, naar zou blijken, de baanbrekende oplossing: het naar hem genoemde *zonneprisma*.

Het concept

Van meet af aan zal Roelofs hebben gedacht aan een optisch hulpstuk (accessoir) dat kon worden geplaatst vóór het objectief van een theodoliet zoals die gebruikt werd tijdens expedities. De optiek van het accessoir zou de straling van de zon dan zodanig moeten leiden dat niet de volle zon, maar het middelpunt daarvan in beeld zou komen, of een punt dat meetbaar daarmee in verband te brengen was. Het accessoir zou betrekkelijk goedkoop moeten kunnen worden vervaardigd en gebruiksvriendelijk moeten zijn te velde. Wat dit laatste betreft: klein, lichtgewicht, weerbestendig en gemakkelijk te bedienen. Zo kwam Roelofs - in de periode 1942-1946 nog lector – op een systeem van twee prisma's met een kleine brekingshoek die loodrecht op elkaar geplaatst werden (figuur 1).

Afzonderlijk besloegen de prisma's (wiggen) een helft van de lichtweg en verdeelden ze de zonneschijf zo in vier kwadranten: één 'normaal' doorgelaten beeld en drie optisch verplaatste beelden. Rekening houdend met de jaarlijkse variatie van de schijnbare diameter van de zon, koos Roelofs de brekingshoek van de wiggen zodanig dat een symmetrisch rozetvormig zonnepatroon werd gevormd. De zonnestraling werd daarbij door een grijsfilter voldoende getemperd om schade aan het oog te

voorkomen. Een extra groen monochromatisch filter diende mede om verstrooiing van het licht te voorkomen. Wat het oog kreeg aangeboden was een tegen een donkere achtergrond groen oplichtend rozetvormig patroon van vier zonnebeelden met feller oplichtende bladvormige overlappen. In het centrum tussen de bollen bevond zich dan een donker vierkantje met gebogen zijden. Met de zwart afstekende kruisdraden van de theodoliet zou daarop comfortabel kunnen worden ingesteld. Dat mikpunt bevond zich weliswaar náást het middelpunt van de zon, maar deze afwijking was aan de hand van de optische eigenschappen van de wiggen rekenkundig te corrigeren.



Figuur 1 | Zonneprisma: het concept.

De realisatie

De vroegste vermelding van het zonneprisma is van januari 1947, toen het op verzoek van prof. Roelofs werd beproefd bij de luchtkartering van Suriname. De uitkomsten zullen bevredigend zijn geweest, want al in mei ontving de Octrooiraad in Den Haag een aanvraag tot patentverlening, die in 1949 met de Delftse instrumentmaker C.J. van Leeuwen (1917-1994) als houder, werd gehonoreerd. Mogelijk had deze in 1946 het proefexemplaar al gemaakt en had hij eerder de hand gehad in een nu onbekend prototype.

Van Leeuwen was in Leiden opgeleid tot instrumentmaker, werkte van 1938 tot 1941 in Zwitserland bij Wild Heerbrugg en woonde sindsdien in Delft, waar hij zich in december 1945 als ondernemer meldde bij de Kamer van Koophandel en zich vrijwel dadelijk toelegde op de vervaardiging en het onderhoud van landmeetkundige en luchtkarteringsinstrumenten. Destijds gevestigd in de voormalige Haarsteeg (tegenwoordig Clarenstraat), vroeg hij in mei 1947 op Roelofs' "solar prism attachment" ook patent aan bij het U.S. Patent Office. Dit werd hem in mei 1950 verleend en diverse Europese octrooien volgden. Sedert begin 1951 in de Vlamingstraat 87, leverde "Instrumentenfabriek C.J. van Leeuwen" één type *ZP 4*. Daarbij was het optisch gedeelte (de behuizing van de wiggen en de filters) scharnierend verbonden aan een koppelstuk (adapter) waarmee het op het objectief kon worden geplaatst. Op deze manier kon de behuizing met wiggen en filters worden weggedraaid om verbindingen te leggen met punten

in het terrein. Het geheel vormde *het zonneprisma van Roelofs*, zoals het in omloop kwam. Om aan de behoefte van gebruikers van theodolieten met uiteenlopende objectiefdiameters te voldoen, leverde Van Leeuwen adapters met verschillende binnendiameters. In grote lijnen behield het zonneprisma het oorspronkelijke model, tot omstreeks 1954 toen Van Leeuwen, die intussen een breder assortiment van (niet-geodetische) instrumenten voerde, de productie overdroeg aan Wild Heerbrugg, zijn vroegere werkgever. Dat was in dezelfde tijd dat de belangrijkste aanpassing van het zonneprisma werd doorgevoerd. Die bestond in de uitbreiding van het optisch gedeelte met één of twee, de gehele lichtweg bestrijkende, wiggen om het beoogde middelpunt van de zonneschijf optisch te verplaatsen naar het centrum van genoemd donker vierkantje en daarmee de eerder genoemde rekenkundig te corrigeren excentriciteit te voorkomen.

Figuur 2 | Het Roelofs zonneprisma.

De markt

Zo veelzijdig als de geodesie was – en is –, zo gevarieerd was – en is – haar klantenkring. Gevarieerd, maar klein in omvang. Voor producenten in het algemeen is dit tastbaar in de omzet van meet- en andere apparatuur, maar zeker geldt dat voor specialistische instrumenten, zoals het zonneprisma. Nuttig, en later onmisbaar, maar alleen voor de kleine kring van geodeten die bij hun plaatsbepaling en richtingsmetingen aangewezen waren op de zon. In Nederland – met zijn fijnmazige meetkundige

infrastructuur – was die kring erg klein, maar instrumentmaker Van Leeuwen zal aanvankelijk hebben gerekend op de Onderafdeling der Geodesie, waar prof. Roelofs een leerstoel bekleedde, die voorzag in de opleiding van geodeten die het verderop zochten; ten dienste van buitenlandse infrastructurele werken, oliewinning of topografische kartering in het algemeen. Het zal met het oog daarop zijn geweest dat de Onderafdeling tekende voor vijf zonneprisma's, waarvan er in 2015 binnen de TU Delft nog enkele (gemerkt *LvG*) aanwezig bleken. Voor het bijhouden van de Rijksdriehoeksmeting verzekerde het Kadaster zich ook van een exemplaar, maar verder moeten de in Delft vervaardigde zonneprisma's – aantallen zijn helaas niet bekend – hun weg hebben gevonden naar het buitenland. Na de overname van de productie werd die markt sedert 1954 en tot in de 21ste eeuw, met de levering van honderden *GSP's*, beheerst door Wild Heerbrugg. Het *Roelofs zonneprisma* – zoals het bleef heten – vindt (2016) voor bijzondere metingen nog toepassing in de offshore-industrie.

Het waterpas instrument van Caminada: ontwerp van L. Cohen Stuart

W.A. van Beusekom

Aanleiding

In het begin van de negentiende eeuw werd Nederland goed in kaart gebracht door Cornelis Rudolphus Theodorus Krayenhoff (1758-1840). Krayenhoff was arts, natuurkundige, vesting- en waterbouwkundige, generaal, cartograaf, en korte tijd minister van Oorlog (zie ook het artikel over de Borda-repetitiecirkel).

Met de aanleg van de spoorwegen werd duidelijk dat vele door Krayenhoff geplaatste hoogtemerken na een halve eeuw niet meer betrouwbaar waren. Er werden regionaal aanvullende waterpassingen gedaan, maar de onderlinge samenhang liet te wensen over. Er was duidelijk behoefte aan een vernieuwing van het landelijk Amsterdam Peil net. In “Drie Eeuwen Normaal Amsterdams Peil” van ir. A. Waalewijn staat: ‘Op de eerste conferentie van de “Mittel-europäische Gradmessung” in 1864 te Berlijn werd al aangedrongen dat iedere land een primair waterpasnet zou meten, daar in de secundaire lokale netten veel discrepantie was en deze niet goed op elkaar aansloten.’

In 1867 werden tijdens een internationaal geodetencongres in Berlijn de eisen opgesteld waaraan primaire waterpassingen moesten voldoen. Maar een politieke besluitvorming in Nederland liet op zich wachten. Het zetje dat de politiek nodig had, kwam met een verzoek van de Duitse regering in 1874 aan de Nederlandse regering. De vraag was van generaal J.J. Baeyer, hoofd van het Pruisisch Geodetisch Instituut, om het Duitse waterpasnet aan te laten sluiten op het Amsterdams Peil. Het AP (“Amsterdammer Pegel”) zou als nulpunt gaan fungeren voor het Duitse waterpasnet, vanaf dan “Normal Null” te noemen. Door een kabinetswisseling werd het besluit tot uitvoering van het Nederlandse waterpasnet genomen door de nieuwe premier en minister van Binnenlandse Zaken Jan Heemskerk Azn. Het oorspronkelijke verzoek van de Duitse regering was niet meer te achterhalen, maar wel de herhaling van dit verzoek van Baeyer aan professor dr. F.J. Stamkart van 1874. Het vooruitzicht Pruisische militairen als uitvoerders binnen de landsgrenzen te hebben was voor de Nederlandse regering geen aanlokkelijke gedachte. Dit ook gezien de gespannen verhouding tussen Frankrijk en Duitsland.

De Eerste Nauwkeurigheidswaterpassing: 1875-1885 (1e NWP)

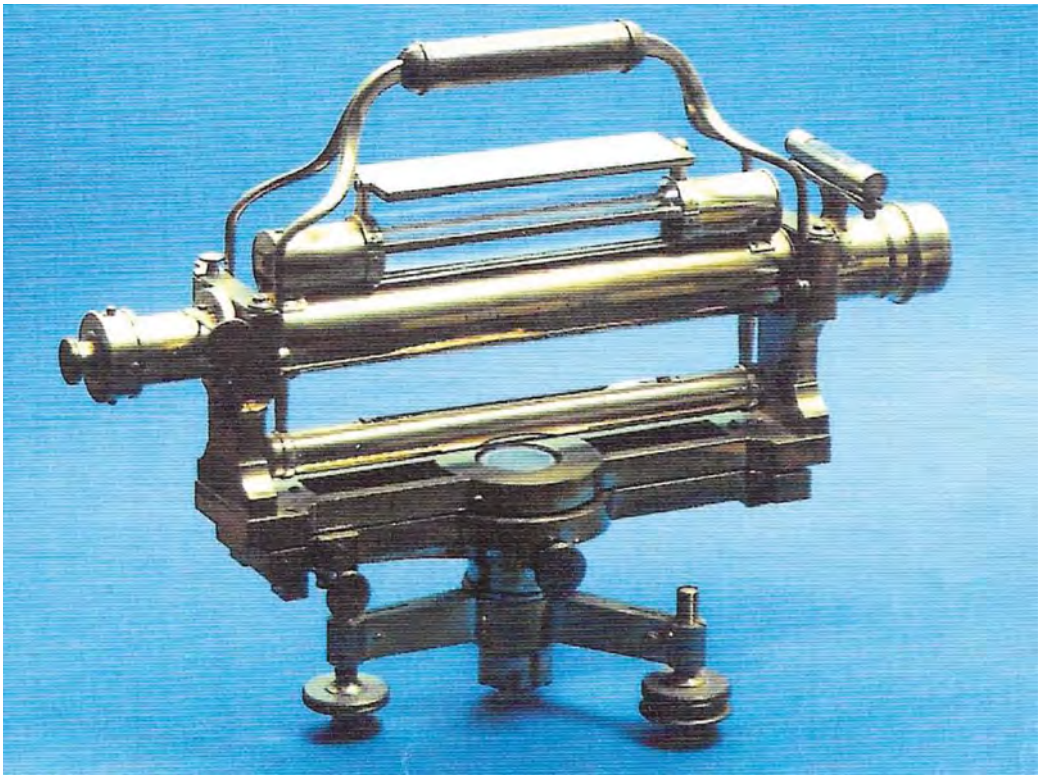
Er werd besloten om zelf te gaan waterpassen, niet alleen een lijn van Amsterdam naar Salzbergen, maar een landsdekkend net: de 1e NWP. Dankzij professor dr. F.J. Stamkart kreeg in 1875 de directeur van de Polytechnische School te Delft, Lewis Cohen Stuart (civiel ingenieur), de opdracht om deze waterpassing onder zijn leiding te laten uitvoeren. Na zijn plotselinge dood in 1878 ging de leiding van de "Rijkswaterpassing" over naar een in 1879 opgerichte Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing.

Figuur 1 | Cornelis Lely, met witte hoed, en Caminada waterpasinstrument, als jong ingenieur bij de Eerste Nauwkeurigheids-waterpassing, of Rijks-Hoogtemeting, in de jaren zeventig van de 19e eeuw.

Gedurende de hele operatie, die van 1875 tot 1885 zou duren, maakte men gebruik van de door Cohen Stuart ontworpen instrumenten. Deze instrumenten werden gemaakt bij de gebroeders Caminada te Rotterdam. Carel Antonius en Johannes Antonius Caminada richtten op 12 mei 1856 de firma Gebr. Caminada op. Hun doel was de vervaardiging van en handel in instrumenten voor wis-, natuur- en zeevaartkunde. Ze deden dat na een eerste opleiding bij hun vader Jan Caminada, ooit passerfabrikant te Delft en zelf weer leerling van de bekende Bayens uit die stad. Hun grootvader *Carel Caminada*,

'geboortig van Milan in Italien', kreeg van de bestuurders van Delft in 1788 consent om in die stad te wonen.

In 1873 kregen de gebroeders Caminada twee bronzen medailles op de Wereldtentoonstelling te Wenen. De één voor een ingezonden torenuurwerk en de ander voor een waterpasinstrument.



Figuur 2 | Waterpasinstrument van Caminada.

Citaat uit de archieven van de gebroeders Caminada: *'Door den WelEd. Zeergel. Heer Dr. L. Cohen Stuart, Directeur aan de Polytechnische School te Delft, werden ons in 1875 de eerste Waterpasinstrumenten opgedragen, met zelf aflezende baken en toe behooren voor de nauwkeurige waterpassing hier te lande. Eene bestelling, die door anderen gevolgd werd, zelfs uit het Buitenland.'*

Het Caminada waterpasinstrument NWP nr. 2 van Ben van der Steen (Zie de Hollandse Cirkel, 2009-2) is nu te bekijken in het NAP-Bezoekerscentrum in Amsterdam en nr. 4 staat bij Boerhaave in Leiden. In Delft prijkt NWP nr. 1 bij de Rijkswaterstaat CIV en NWP nrs. 5 en 7 bevinden zich in de

bijzondere collectie van TUD Library. Uit het jaarverslag van de Rijkscommissie voor Graadmeting en Waterpassing van 1880 wordt gemeld dat NWP nr. 5 in dat jaar werd aangeschaft.

Constructie van het instrument

Het instrument rust met ronde tappen in vorken, waarin deze kan worden omgelegd. De vorken waren tot één geheel verbonden, waarin de kijker kwam te rusten. Om de vorken gezamenlijke met de kijker te kunnen optillen van het stelschroevenblok waren deze voorzien van een beugel. Dit aftillen gebeurde bij elke standplaatsverandering. In ieder instrument was een thermometer ingebouwd, terwijl de aflezing van het niveau met een spiegel gebeurde. Om een eventuele fout vanwege parallax te vermijden was bovenop het dekglas eenzelfde verdeling aangebracht als op de niveaubuis. Bij het aflezen moesten de identieke deelstrepen elkaar bedekken. De kijker was tevens voorzien van een boven-, midden- en onderdraad, zodat de afstand tot de baak kon worden bepaald, maar het bood tevens een controle op de middendraadaflezing.

Wijze van waarneming en herleiding

De waarnemingen gebeurden op een door Cohen Stuart ontworpen methode. Allereerst werd de middendraad van de kijker bij zo goed mogelijk ingespeeld niveau precies midden tussen twee opeenvolgende centimeterstrepen ingesteld. Deze aflezing op de baak werd genoteerd als M (middendraad). Tevens werden de uiteinden van de luchtbel in het niveau afgelezen. Hierna volgden de aflezingen van de boven- en onderdraad op de baak (B en O). Degene die de baak aflas werd *insteller* genoemd, die het niveau aflas de *belaflezer* en de derde persoon was de *optekenaar.* Om aflees-, notatie- en rekenfouten te voorkomen noteerde de optekenaar ook (B-M) en (M-O), maar ook (B-O) = (B-M) + (M-O). Deze uitkomsten mochten uiteraard niet te veel verschillen. Mocht dat toch het geval zijn dan werd de waarnemingsreeks in zijn geheel overgedaan. De tweede serie aflezingen gebeurde nadat de kijker was omgekeerd. Om nog meer zekerheid in te bouwen werd de teruggang van een sectie door een andere ploeg gemeten. Eénmaal per week werden de meetresultaten naar kantoor gestuurd. (De kamer aan nu Oude Delft 95 van waaruit de 1e NWP de eerste jaren werd aangestuurd is nog in oude staat bewaard gebleven.) Daar werden de resultaten gecontroleerd en werden met behulp van de belafwijking de juiste baakaflezingen berekend. Deze afleesprocedés werden naderhand ook overgenomen bij de Duitse waterpassingen onder de benaming “Holländisches Nivellierverfahren”.

Gebruikte baken en piketten

De baken waren van hout en werden door zorgvuldig handelen gevrijwaard van vocht. Deze baken waren wit geverfd met om de centimeter een zwarte streep van één millimeter dik. Het ondereinde

van de baak was voorzien van een gladde stalen plaat. Bij waarnemingen werd deze baak geplaatst op een gladde stalen kop bovenop een piket.

Wat kostte het?

De totale kosten van het project waren: *f* 160 820,-. Salarissen en onkostenvergoeding varieerden per streek waar men werkte. Een ploegchef kostte *f* 3,- à *f* 5,- met de mogelijkheid dat dit zou worden opgetrokken naar *f* 7,- à *f* 8,- per dag. Twee assistenten kostten per assistent *f* 4,- per dag. Vijf werklieden kostten per persoon *f* 1,70 per dag. Het reserve-instrument met baken, aangeschaft in 1886, kostte *f* 1 200,-.

Maatschappelijke betekenis

Het instrument met onder meer de omkeerbare kijker en de voorschriften voor het uitvoeren van de metingen was van grote betekenis voor de verdere ontwikkeling en de kwaliteit van het genormaliseerde hoogtenet in Nederland, het NAP, maar ook in het buitenland. Tot de komst van primaire instrumenten met type alles vast in de vijftiger jaren van de 20e eeuw werden voor nauwkeurigheidswaterpassingen steeds omkeerbare kijkers gebruikt. Pas met de komst van barcode-apparatuur, waar in het begin van deze eeuw de kinderziektes uit waren, was het aflezen van drie draden als extra controle niet meer nodig. En zoals in het begin van dit artikel al gememoreerd, is een goede geodetische infrastructuur onontbeerlijk voor de aanleg van grote infrastructurele werken, maar ook noodzakelijk voor de monitoring van zeespiegelvariatie en bodembeweging.

Nieuwe instrumenten voor de landmeetkunde

M.J.M. Bogaerts

Meetlijnen of voerstralen

Automatisering van het meest voorkomende werk van de landmeter, de detailmeting, was in het begin van de jaren zestig een onderwerp van grote interesse in de toenmalige onderafdeling der Geodesie.

In ons vlakke land werd vrijwel uitsluitend de meetlijnenmethode toegepast. Automatiseren van deze methode was in principe wel mogelijk, maar door de ingewikkeldheid van de meetlijnenconstructie veel te arbeidsintensief.

De in ons land weinig toegepaste voerstraalmethode was veel gemakkelijker te automatiseren. Met een tachymeter worden hierbij vanaf de standplaats richtingen en afstanden gemeten naar de op te meten punten. Deze methode was geknipt voor automatische verwerking van de meetgegevens. Er bestonden veel soorten tachymeters, zoals dradentachymeters, dubbelbeeldtachymeters, basis-afstandsmeters.

De onderafdeling der Geodesie verzocht haar medewerker M.J.M. Bogaerts in het kader van een promotie een elektronische tachymeter te ontwikkelen.

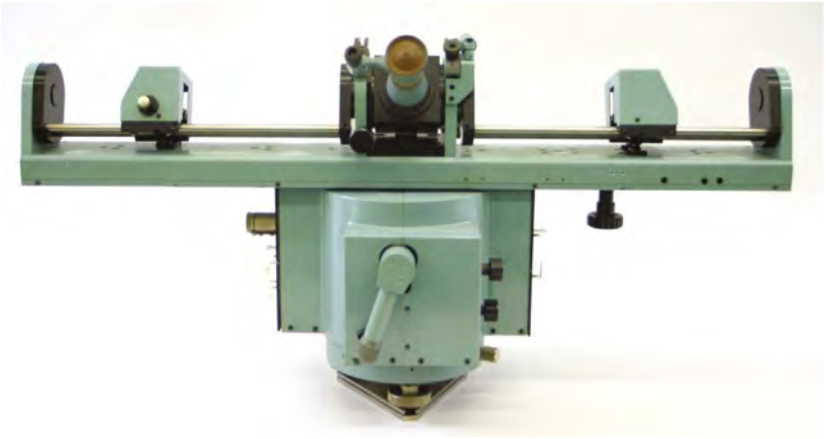
Promotie

Promoveren aan de Technische Hogeschool in Delft in het midden van de jaren zestig was geen eenvoudige zaak. Bij de Afdeling Weg- en Waterbouwkunde moest je als ingenieur minstens 10 jaar praktijkervaring hebben voordat je mocht promoveren. Omdat Geodesie een onderafdeling van Weg- en Waterbouwkunde was, wenste de promotor, prof. G.F. Witt, zich aan deze regel te houden. Over de keuze van het onderwerp bestond geen enkele twijfel. Het was een optisch/elektronische tachymeter met automatische registratie van de meetgegevens.

Met dit instrument, een basisafstandsmeter, konden richtingen, rechtstreekse lengten, horizontale lengten en hoogteverschillen worden gemeten en automatisch worden geregistreerd op magneet-bandjes. Kortom een total station zouden wij nu zeggen. Daarnaast moest op een ponskaartenmachine van IBM een adapter worden gebouwd waarmee de gegevens op de magneet-bandjes konden worden overgezet op ponskaarten. Zie [1] voor details.

Een paar weken voor de promotie brachten de leden van de promotiecommissie een bezoek aan het Geodesiegebouw om de apparatuur in werking te zien. Iedereen mocht metingen doen in de grote practicumzaal. Alles liep gesmeerd. Zoals verwacht werden alle metingen geregistreerd op een magneetbandje. Daarna werden de gegevens in het omzetapparaat geregistreerd op ponskaarten. De commissieleden waren onder de indruk.

Het proefschrift werd mede uitgegeven door de Rijkscommissie voor Geodesie. Dit betekende verspreiding over de hele wereld. Het instrument, in feite een functiemodel, is nog steeds te zien bij de TU Delft (figuur 1).



Figuur 1 | De optisch/elektronische tachymeter.

De ART, de Automatisch Reducerende Tachymeter

Inmiddels was gebleken dat het proefschrift niet veel later had moeten komen. Het bleek dat met de stof Galliumarsenide (GaAs) infraroodstralen met hoge frequentie konden worden geproduceerd. Met een golflengte van twintig meter werden infraroodstralen uitgezonden naar een prisma dat stond opgesteld in het te meten detailpunt. Met het faseverschil tussen de uitgezonden en de teruggekaatste straal kon de afstand tussen het opstelpunt van het meetinstrument en het detailpunt worden bepaald. Op basis van dit principe zou Bogaerts de elektronische tachymeter verder door gaan ontwikkelen.

Hij legde dit idee voor aan de directie van De Oude Delft en vroeg om samenwerking. De basis van het bedrijf zou dan worden verbreed omdat naast de militaire en de medische poot een derde instrumentele lijn en wel die van geodesie zou kunnen worden ontwikkeld. Zo ontstond de ART, de Automatisch Reducerende Tachymeter.

De introductie van de ART was een groot succes, culminerend in de presentatie van het prototype op het FIG (International Federation of Surveyors) congres in 1972 in Wiesbaden. Dit was een extra groot evenement omdat het gecombineerd werd met de Deutsche Geodätentage. De presentatie werd twee keer voor een zaal van duizend toehoorders gehouden. Bovendien werd het instrument in het journaal van de Duitse televisie gepresenteerd. Toch ebde de euforie langzaam weg.

Bij De Oude Delft bleef men twijfelen aan de financiële haalbaarheid van het project. Toen men ongeveer 6 miljoen gulden had uitgegeven werd het project stopgezet. Een militair project (Orpheus) kreeg voorrang. In deze markt had men veel meer ervaring. Dit betekende het einde van een veelbelovende Nederlandse geodetische industrie.

Jaren later bekende de directie van De Oude Delft dat dit waarschijnlijk hun grootste misser ooit was geweest. De total stations werden een groot succes, waarvan zij zomaar het eerstgeboorterecht hadden weggegeven. Ook het functiemodel van dit instrument staat bij de TU Delft (figuur 2).

Figuur 2 | De Automatisch Reducerende Tachymeter (ART).

Het FRANK systeem

De horizoncamera

De “horizoncamera”. werd door De Oude Delft als één van hun meest inventieve uitvindingen beschouwd. Helaas was er nooit een markt voor gevonden. Met deze camera konden rondom foto’s worden gemaakt met een verticale gezichtshoek van 18 graden. Prof. Bogaerts zag mogelijkheden om hiermee een nieuw landmeetkundig systeem te ontwikkelen. Het systeem kreeg de naam FRANK, de afkorting van Fotografische Registratie ten behoeve van Analoge Kaartvervaardiging.

In een straat worden op regelmatige afstand van elkaar rondomfoto's genomen. De meeste detailpunten staan op twee of meer foto's. Door voorwaartse insnijding kan men de coördinaten van de punten berekenen. Als de coördinaten van de opstelpunten niet bekend zijn, kan de berekening van een serie terrestrische foto's op dezelfde manier plaatsvinden als een strook luchtfoto's. De foto's werden uitgewerkt op het instrument HOME (hoekmeter), waarbij de metingen automatisch werden geregistreerd. Het functiemodel van het uitwerkingsinstrument HOME van het FRANK-systeem staat bij de TU Delft (figuur 3). De CycloMedia-auto op de foto laat het moderne opnamegedeelte van het FRANK-systeem in werking zien.

Figuur 3 | De CycloMedia auto met het DCR10 systeem op het dak.

Na succesvolle proefmetingen werd een nieuw project gedefinieerd, waarbij de horizoncamera vervangen werd door een fish-eye lens met een verticale gezichtshoek van 110 graden. Er kon dus 20 graden onder de horizon worden gemeten. Het project werd uitgevoerd met ondersteuning van het ministerie van Economische Zaken en enkele participanten. Bij nader inzien bleek het landmeetkundig systeem niet erg concurrerend te zijn ten opzichte van de bestaande methode van de elektronische tachymetrie. Wel interessant bleken de rondomfoto's te zijn. Deze werden gescand en daarna getransformeerd naar cyclorama's waarop objecten, zoals gebouwen, vrijwel zonder vertekening konden worden afgebeeld. Voor details, zie [2].

Op basis hiervan werd het bedrijf CycloMedia opgericht, dat het systeem verder ontwikkelde. Voor nadere details zie de website van dit bedrijf: http://www.cyclomedia.com/nl/.

De bouw van de functiemodellen van het promotieontwerp de rangefinder, van de ART, de Automatisch Reducerende Tachymeter, en van het FRANK systeem werd uitgevoerd door de Instrumentmakerij van de Afdeling Geodesie van de TU Delft. Dit was niet mogelijk geweest zonder de zeer gewaardeerde medewerking van de leerstoelen Optica, Elektronica, Schakeltechniek en Fijnmechanische Techniek van de TU Delft.

De repetitiecirkel van Borda en Lenoir

Huib Ekkelenkamp, m.m.v. Janhein Loedeman

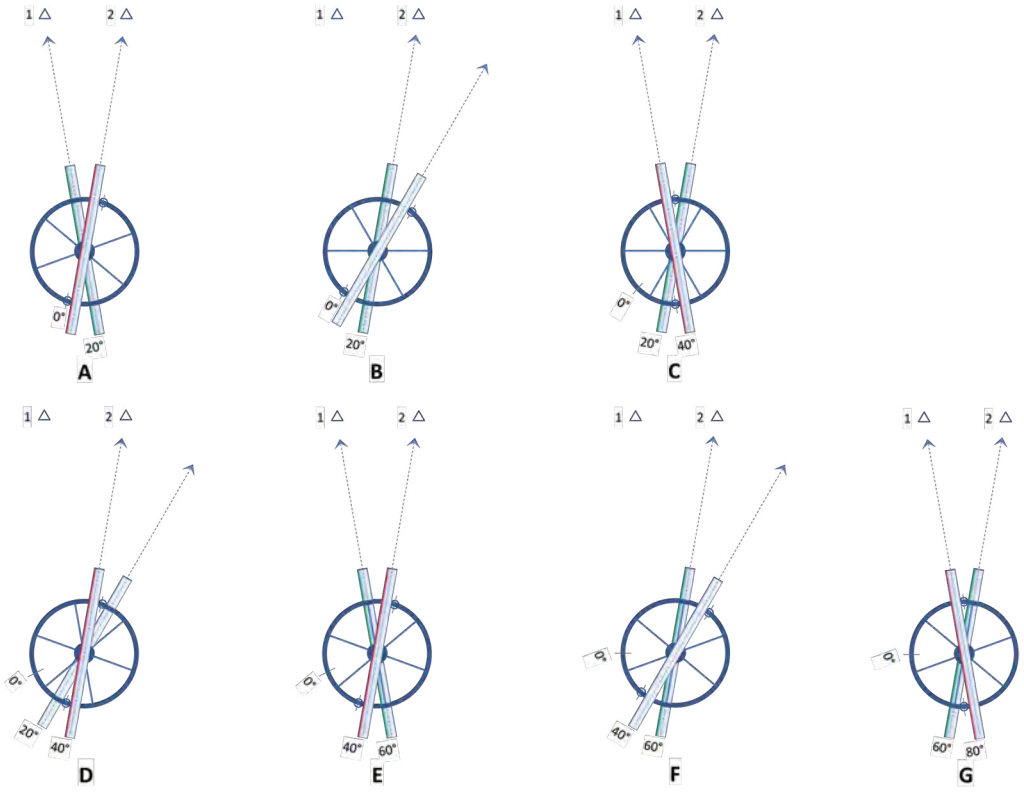
Het ontstaan en werkingsprincipe van de Borda repetitiecirkel

De repetitiecirkel heeft een belangrijke rol gespeeld bij de bepaling van de meter en bij de geodetische metingen begin 19e eeuw door Cornelis Rudolphus Theodorus Krayenhoff voor het vervaardigen van een nauwkeurige topografische kaart van Nederland. Positiebepaling op zee en vervaardiging van nauwkeurige kaarten vergden nauwkeurige hoekmetingen. Op zee kon gebruik gemaakt worden van de hoek tussen de horizon en een hemellichaam zoals de poolster, de zon of de maan. Op land werd driehoeksmeting (triangulatie) toegepast. Wanneer van een driehoek twee hoeken en een zijde bekend zijn dan kunnen de overige twee zijden en de derde hoek berekend worden. Deze driehoeken werden gevormd tussen bakens op (kerk-)torens of bergen. Afstandsmetingen tussen de driehoekspunten op onderlinge afstand tot 50 km en soms, bij voldoend hoge bergen, meer dan 100 km waren lastig uit te voeren en werden zo vervangen door betrekkelijk eenvoudige hoekmetingen. Hoekmetingen op land werden, behalve met de repetitiecirkel, ook uitgevoerd met een theodoliet die zowel hoeken in het horizontale vlak als in het verticale vlak nauwkeurig kon meten. Wanneer op land driehoeksmetingen voor positiebepaling niet mogelijk waren, werden astronomische plaatsbepalingen toegepast.

Op zee werd de positie bepaald door meting van de breedtegraad (of latitude) met een sextant als hoekmeter. De lengtegraad (of longitude) werd berekend uit het tijdsverschil tussen lokale tijd en een referentietijd van een bekende locatie. Die referentietijd werd afgelezen op een meegenomen nauwkeurige klok of chronometer. De longitude volgt immers direkt uit de draaiing van de aarde gedurende dat tijdsverschil. Uit de hoogste stand van de zon overdag, gemeten met een sextant kon de lokale tijd afgeleid worden. Een andere methode voor positiebepaling was gebruik te maken van de afstand tussen de maan en bekende sterren op een bepaald tijdstip. Deze methode werd meting van maansafstanden genoemd (lunar method) en vond plaats met nauwkeurige hoekmetingen tussen de hemellichamen. In enkele gevallen moest over grotere hoeken gemeten worden dan met een octant (90°) of sextant (120°) mogelijk was. Gebruik makend van tabellen met de plaats van betreffende hemellichamen op bepaalde tijden kon zo de positie uitgerekend worden. Tobias Mayer (1723-1762), Duits astronoom en hoogleraar in Göttingen, stelde deze maantabellen samen. Hij ontwierp ook een hoekmeetinstrument, de zogenaamde repetitiecirkel die hoeken tot 180° kon meten. Door herhaling van metingen kon daarmee een hoge nauwkeurigheid behaald worden.

Jean-Charles de Borda (1733-1799), wiskundige, natuurkundige en officier bij de Franse marine ontwikkelde de repetitiecirkel verder. Hij zocht in Engeland en Frankrijk naar een instrumentmaker, die een praktische uitvoering van zijn verbeterd instrument kon maken. Instrumentmaker Etienne Lenoir (1744-1832) in Parijs benaderde Borda en ontwikkelde in nauwe samenwerking met hem een

reflectiecirkel voor gebruik op zee en een repetitiecirkel voor gebruik aan land. Beiden maken gebruik van middeling van herhaalde metingen. De reflectiecirkel heeft één (richt)kijker of telescoop, om in combinatie met reflecterende spiegels de hoek tussen een hemellichaam en de horizon of tussen hemellichamen te meten. De repetitiecirkel voor landmetingen werkt met twee identieke kijkers voor meting van de onderlinge hoek tussen twee objecten. De reflectiecirkel werd als een sextant in de hand gehouden, de repetitiecirkel stond op een voet en kon gekanteld worden, zodat metingen in allerlei richtingen mogelijk waren.



Figuur 1 | Het principe van de repetitiemetingen.

Het principe van repetitiemetingen is met figuur 1 verduidelijkt. De cirkel is verdeeld in 360 graden, elke graad heeft 60 boogminuten en elke boogminuut 60 boogseconden. Tussen de objecten 1 en 2 moet de hoek bepaald worden. Bij A wordt de groene kijker op object 1 gericht en de rode kijker op object 2, in het voorbeeld is die hoek 20°. Beide kijkers zitten vastgeklemd op de cirkel. Bij B wordt nu de groene kijker gericht op object 2 en zijn beide kijkers met de cirkel dus over 20° gedraaid. Vervolgens wordt de rode kijker losgemaakt van de cirkel en bij C weer op object 1 gericht. Dientengevolge wordt op de cirkel voor de rode kijker met afleesmicroscopen op de cirkelrand een tweemaal grotere hoek van 40°

afgelezen. Het proces kan zo herhaald worden, bij D – E met het verstellen van de groene kijker en bij F – G van de rode kijker. Door de aflezing steeds door het aantal metingen te delen wordt een deel van de instrumentele fouten en afleesfouten uitgemiddeld, zodat de nauwkeurigheid van de berekende gemiddelde waarde van de gemeten hoek toeneemt met het aantal metingen. Zo behaalde men nauwkeurigheden van enkele boogseconden. Instrumentele fouten door excentriciteit van de kijkers, slijtage en foute positionering van de haarlijnen in het oculair worden zo echter niet gecompenseerd.

Tussen de observatoria van Parijs en Greenwich werd in 1787 een triangulatie uitgevoerd onder leiding van de Engelsman William Roy en de Franse astronomen Jean-Dominique Cassini en Pierre-Francois-André Méchain. De Engelsen gebruikten een grote Engelse theodoliet, gemaakt door de beste Engelse instrumentmaker Jesse Ramsden (1735-1800) met een horizontale cirkeldiameter van 3 Engelse voet (ca. 91 cm) en een gewicht van 90 kg. De Borda repetitiecirkel had een diameter van 1 Franse voet (ca. 32 cm) en woog slechts 20 kg. Bij vergelijking van de resultaten bleek dat beide instrumenten in nauwkeurigheid goed overeen kwamen. De afleesnauwkeurigheid van het Engelse instrument was echter aanzienlijk groter.

Borda repetitiecirkels zijn tussen 1792 en 1799 ook gebruikt bij de bepaling van de aardomtrek voor de vaststelling van de meter als eenheidsmaat. De meter werd gebaseerd op het tienmiljoenste deel van een 1/4 van de aardomtrek over de polen. Dit werd bepaald met triangulatie voor lengtemeting van de meridiaan over Parijs tussen Duinkerken en Barcelona, overeenkomend met 10°breedte, ofwel 1/9 deel.

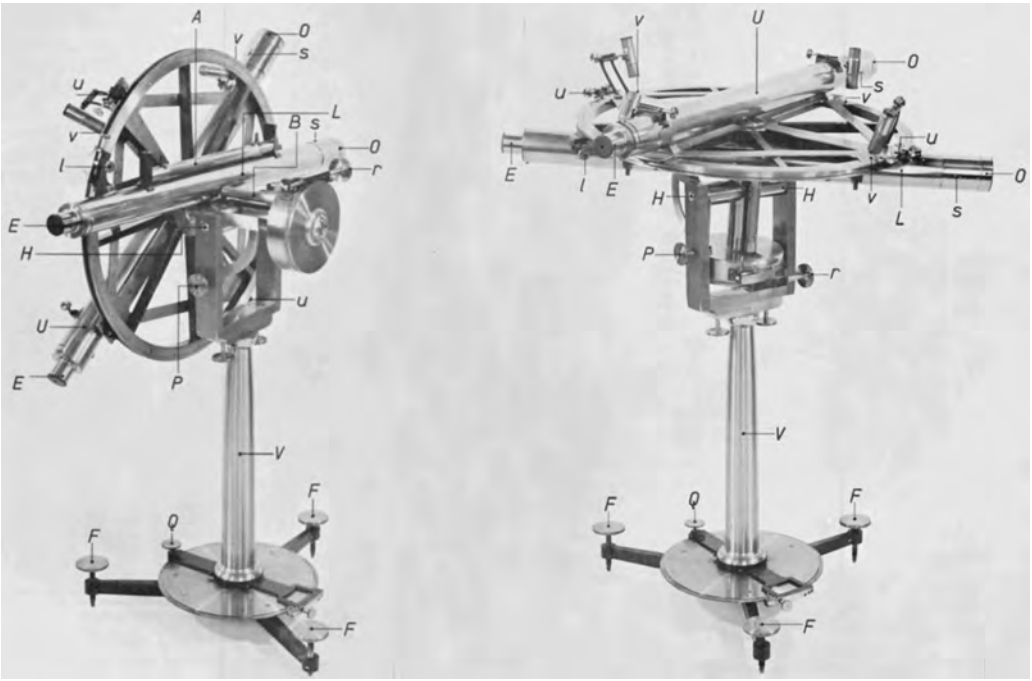
De rol van de Borda repetitiecirkel bij het in kaart brengen van Nederland

Al in de Bataafs-Franse tijd (1795-1813) kreeg Cornelis Krayenhoff (1758-1840) de opdracht Nederland goed in kaart te brengen. Daarvoor achtte hij een triangulatie vanuit het Franse driehoeksnet door België naar het noordoosten noodzakelijk. Krayenhoff was natuurkundige, arts, waterbouwkundige, kartograaf, generaal en korte tijd Nederlands minister van Oorlog. Met zijn kennis van landmeten en ervaring in Frankrijk koos hij een Borda repetitiecirkel van Lenoir als meetinstrument. Dit zelfde instrument maakt nu deel uit van de collectie van het academisch erfgoed van de TU Delft, zie figuur 2 en 3. Krayenhoff gaf gedetailleerde instructies uit voor de metingen met dit instrument.

Deze Borda repetitiecirkel heeft een diameter van 16 duim (ca. 43 cm) en twee identieke kijkers aan weerszijden van de cirkel, die ten opzichte van elkaar verdraaid kunnen worden en weegt 25,7 kg.

Door de kijkers te richten op twee verschillende objecten kan de onderlinge hoek bepaald worden op de cirkelrand met vier armen die een kruis vormen met aan elk eind een nonius met meetmicroscoop. In figuur 2 is U de bovenste kijker, L de onderste kijker, O de objectieflens en E het oculair. Bij schroef S kan de objectieflens verschoven worden voor correctie van de parallax. Waterpas met libel A is voor

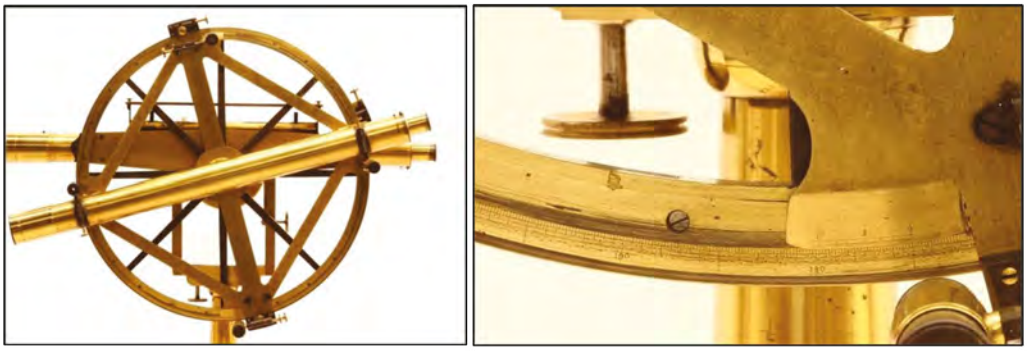
horizontaal stellen van kijker L en waterpas met libel B voor verticaal stellen van de voet V met de stelschroeven F. De cirkel kan horizontaal gedraaid worden met schroef Q en verticaal over de as H-H met schroef P. De brandpuntsafstand van de objectieflens is 610 mm en van het oculair 25,4 mm, wat resulteert in een vergroting van 610/25,4 ofwel 24 x. De kruisdraden voor het richten op het object bevinden zich in het brandpunt van het oculair en kunnen door draaiing aan het oculair scherp gesteld worden. De afleesnauwkeurigheid van de cirkel is 20 seconden, wat blijkt uit figuur 3. Krayenhoff's driehoeksmetingen strekten zich uit van noord Frankrijk over delen van België, Nederland en noordwest Duitsland.



Figuur 2 | De belangrijke onderdelen van de Borda repetitiecirkel.

De resultaten van zijn metingen werden in Duitsland bekritiseerd door Carl Friedrich Gauss (1777-1855), wiskundige en natuurkundige, door Frederik Kaiser (1808-1872), directeur van de Leidsche sterrenwacht, en door L. Cohen Stuart (1826-1878), directeur van de Polytechnische Hogeschool in Delft. Met name het selectief weglaten van zeer afwijkende meetresultaten vond bij hen geen genade. De metingen van Krayenhoff zijn in 1972 uitvoerig geanalyseerd door N.D. Haasbroek, voormalig lector in de Geodesie aan de TH Delft. Haasbroek heeft echter aangetoond dat Krayenhoff wel degelijk integer te werk is gegaan; hij liet zijn resultaten steeds door de universiteit in Leiden beoordelen. Hoewel ook Haasbroek het selectief weglaten niet goedkeurt, komt hij na uitvoerige analyse tot de conclusie dat Krayenhoff met zijn triangulatiemetingen een uitzonderlijke prestatie heeft geleverd

met uitstekende resultaten die de toets der hedendaagse kritiek kunnen doorstaan. Daarmee werd behalve Krayenhoff ook de Borda repetitiecirkel weer in ere hersteld. De metingen van Krayenhoff vormden in de 19e eeuw de basis voor de topografische kaarten van Nederland.



Figuur 3 | Links: de repetitiecirkel met vier meetmicroscopen voor het aflezen van de cirkelrand. Rechts: het aflezen van de cirkelrand met een meetmicroscoop met een precisie van 20 boogseconden door gebruik van een korte secundaire schaal of nonius.

Het Gouden Kalf: het zwaartekrachts-instrument van professor Vening Meinesz

B.C. Root

Op een koude winterdag, 21 november 1935, zette professor Vening Meinesz zijn slingerapparaat aan. Een paar minuten eerder dook de onderzeeboot, de Harer Majesteit K-XVIII, naar een diepte van 30 meter [1]. Deze observatie zou de vijfhonderdste meting worden van een lange reeks observaties. De nieuwe dataset zou veel nieuwe mysteries over onze planeet helpen ontrafelen. Dit levenswerk van Vening Meinesz is gepubliceerd in wetenschappelijke artikelen in vier volumes genaamd 'Gravity Expeditions at Sea'. De professor nam tijdens de expedities zijn speciaal ontworpen slinger apparaat mee, ook wel 'Het Gouden Kalf' genoemd.

Begin 1900 was het zwaartekrachtsveld van de aarde alleen gemeten op land. Het klassieke enkel-slingerinstrument had een stabiele ondergrond nodig. Dit was niet haalbaar op schepen. Hierdoor was 73 procent van het zwaartekrachtsveld op aarde nog onbekend voor de geodetische gemeenschap. Een jonge civiele ingenieur van de Technische Hogeschool in Delft zou daar verandering in brengen. Na zijn promotie (met lof) aan de TH Delft in maart 1915 kreeg doctor Felix Andries Vening Meinesz de taak van de Rijkscommissie voor Graadmeting om het eerste Nederlandse zwaartekracht-referentienetwerk op te zetten. Voor dit project had hij een instrument nodig dat het zwaartekrachtsveld met de hoogste nauwkeurigheid kon bepalen.

Hiervoor verhuisde Vening Meinesz naar de Bilt. Hij trok in het gebouw van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). In de kelders van het KNMI-gebouw aan de Kloosterweg, onder het kantoor van de directeur van het instituut, Van Everdingen, begon Vening Meinesz aan zijn metingen en grondige kalibratie van zijn slingerapparaat [2]. Het bewijs van zijn aanwezigheid kan nog steeds gevonden worden bij het oude gebouw van het KNMI, waar een historische plaquette aanwezig is op de linker reling van de westelijke buitentrap. De locatie was erg nuttig voor Vening Meinesz, omdat de geologische ondergrond voor een stabiele omgeving zorgde en de afgelegen plek zorgde voor minder trillingen van vrachtverkeer en binnenvaart. De nauwkeurigheid van de latere metingen zijn te danken aan de grondige kalibratie van zijn instrumenten [3].

Door het succes van zijn werk in Nederland besloot Vening Meinesz om ook de zwaartekracht te meten aan boord van een schip. Nochtans waren de golfslag en de trillingen van de zware motoren te groot, waardoor de metingen waardeloos waren. Teleurgesteld presenteerde hij de negatieve resultaten in Maastricht tijdens het 19de *Nederlandse Natuur- en Geneeskundig Congres* in april 1923. Na zijn presentatie stelde ir. F. K. Th. van Iterson (1877-1957), oud-hoogleraar in de werktuigbouwkunde aan de TH Delft en inmiddels directeur van de Staatsmijnen, voor om niet oppervlakteschepen maar

onderzeeboten te gebruiken [4]. De golfslag op 30 meter diepte zou immers sterk gedempt zijn en onderzeeboten hebben bovendien stille elektromotoren. Dit vleugje serendipiteit was de start van vele zwaartekracht expedities in onderzeeboten.

Een echte ingenieur

Vening Meinesz, als echte ingenieur, wijzigde het instrument veelvuldig tijdens zijn vele tochten en was constant bezig met het doorvoeren van verbeteringen. Tijdens zijn werk aan het Nederlandse referentie netwerk gebruikte hij de 'Von Sterneck-Stückrath' gravimeter (1887), maar deze bleek moeilijk te hanteren te zijn tijdens de lange expeditie met de K-II (1923). Vening Meinesz besloot daarom om een nieuwe gravimeter te ontwerpen. Hij 'kannibaliseerde' de slingers van de oude 'Von Sterneck' (de behuizing van de 'Von Sterneck' is nog steeds in bezit van het KNMI), waarbij hij hetzelfde meetprincipe bleef gebruiken. Hij vond echter wel, na wiskundige analyse, dat er maar drie in plaats van vier slingers nodig waren om twee onafhankelijke metingen te maken [5]. De nieuwe configuratie plaatst de drie slingers in een lijn parallel aan de slingerrichting. Het is onmogelijk om met een enkele slinger de waarde van g en de externe horizontale versnellingen te ontkoppelen. Daarom wordt het verschil in uitwijkingen van twee slingers gemeten. De externe versnelling, die hetzelfde is voor beide slingers, wordt dan geëlimineerd. Het resultaat is een klassieke bewegingsvergelijking van een enkele virtuele slinger, welke de beweging beschrijft van het verschil tussen beide uitwijkingen – van een virtuele uitwijking.

De virtuele uitwijking wordt gemeten met een ingenieus ontwerp van lichtstralen, spiegels en prisma's aan de bovenzijde van het slingerapparaat. Uit deze nieuwe vergelijking voor het verschil tussen de twee uitwijkingen volgt dat de slingerperiode van die virtuele slinger wordt gegeven door de bekende relatie tussen slingerperiode T_{12} enerzijds en de verhouding tussen slingerlengte L en versnelling van de zwaartekracht g anderzijds.

Met de periode van de virtuele slinger (T_{12}) en de lengte van de slingers (L) kon uit deze formule de versnelling van de zwaartekracht (g) worden bepaald. Het apparaat had drie slingers, zodat de kwaliteit van de meting kon worden bepaald. Met drie slingers kunnen twee meetparen worden bepaald, T_{12} en T_{23}. Het gemiddelde van deze twee waardes wordt gebruikt om de waarde van de lokale zwaartekracht te bepalen en het verschil geeft een schatting voor de precisie van de meting.

Het opnameapparaat, een kleine 'donkere kamer' met een rol fotografisch papier, was bovenop het slingerapparaat bevestigd. Tijdens de metingen rolde een uurwerkmechanisme het fotografisch papier uit, zodat de uitwijkingen van de slingers werden geregistreerd. De professor had tijdens zijn onderzeebootexpedities altijd 'state-of-the-art' chronometers aan boord. De 'Nardin 212' werd op elke expeditie meegenomen en had een nauwkeurigheid van 0,04 sec/dag. De chronometers konden elke 0,5 seconde een elektrische kring openen en sluiten. Een sluiter onderbrak de lichtstralen kort en plaatste nauwkeurige 0,5-secondemarkeringen in de opnames.

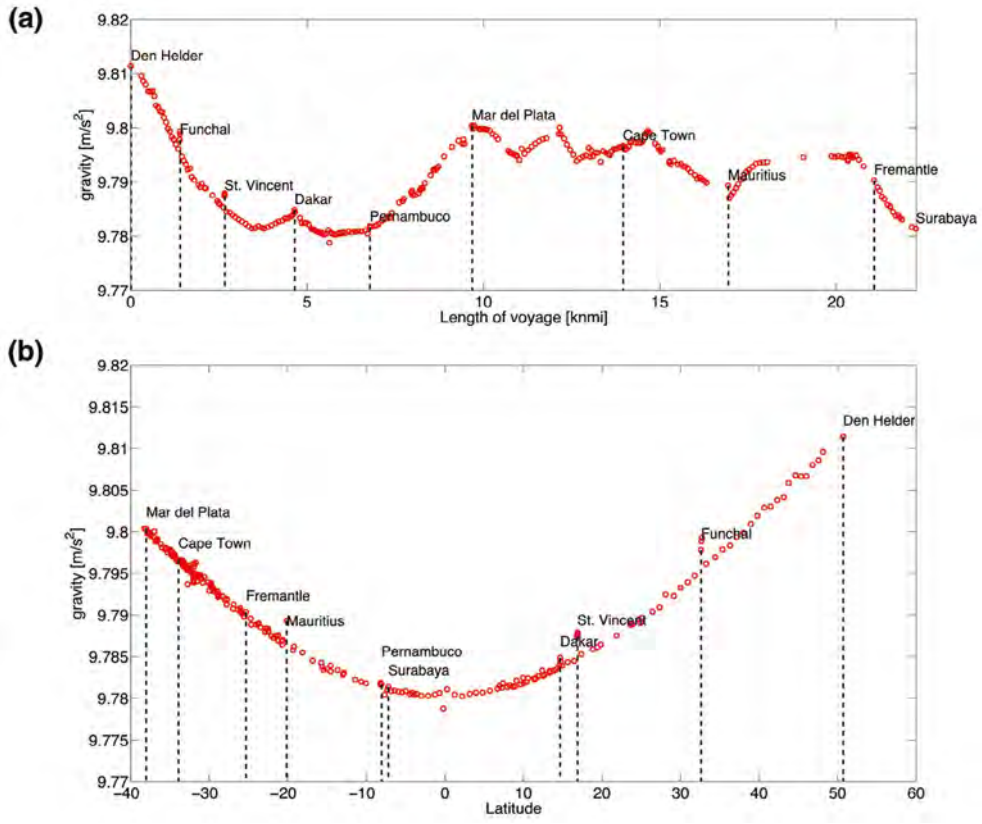
De scheepsbemanning had het slingerapparaat de naam 'Het Gouden Kalf' gegeven. Het verhaal gaat dat tijdens metingen de niet-essentiële bemanning stil in hun bedden moest gaan liggen, zodat ze geen externe trillingen zouden veroorzaken. De Nederlandse Marine vond dit een beperking van hun levensgenot en betaalde als compensatie per duik een gulden extra. Wanneer het slingerapparaat uiterst voorzichtig aan boord werd getild wreef de bemanning in haar handen, want dit betekende extra gage. De keuze voor de bijnaam had natuurlijk ook te maken met de goudachtige kleur van het apparaat.

Resultaten en erfenis

Tijdens de beroemde wereldreis van de K-XVIII heeft professor Vening Meinesz in totaal 240 metingen aan het zwaartekrachtsveld gerealiseerd. De metingen zijn in figuur 1a chronologisch weergegeven en vertonen een grillig patroon. In Den Helder wordt de waarde 9,81 m/s^2 gemeten, die ook wordt onderwezen in de Nederlandse natuurkundeboeken. Gedurende de expeditie variëren de meetwaardes tussen de 9,81 en 9,78 m/s^2. Als de g-waarden worden uitgezet als functie van de breedtegraad ontstaat een regelmatige curve (figuur 1b). Deze parabolische relatie is het gevolg van het feit dat de aarde niet perfect rond is, maar aan de polen licht is afgeplat. Hierdoor is een waarnemer op de evenaar iets verder van het zwaartepunt van de aarde verwijderd dan op de polen. De theorie van Isaac Newton dicteert dan dat de versnelling van de zwaartekracht kleiner is, wat prachtig werd bevestigd door de metingen van Vening Meinesz. Dit voorbeeld illustreert perfect dat door het zwaartekrachtsveld te bestuderen de vorm van de aarde kan worden bepaald. Deze tak van wetenschap wordt ook wel fysische geodesie genoemd.

De bekendste theorie van Vening Meinesz is zijn model voor de evenwichtsituatie van continenten, gebergten en vulkanische eilanden. Wetenschappers veronderstelden dat deze grote massa's in een vloeibare mantel drijven, zoals een ijsberg in de zee drijft. Maar door de metingen van 'Het Gouden Kalf' te bestuderen concludeerde Vening Meinesz dat een deel van deze massa wordt gedragen door de vaste aardkorst. Zwaartekracht observaties van kustgebieden en vulkanische eilanden lieten zien dat de korst als een mechanische plaat reageerde. Deze theorie wordt nu 'Vening Meinesz isostasie' genoemd en is succesvol in het verklaren van het zwaartekrachtsveld van oceanische eilanden.

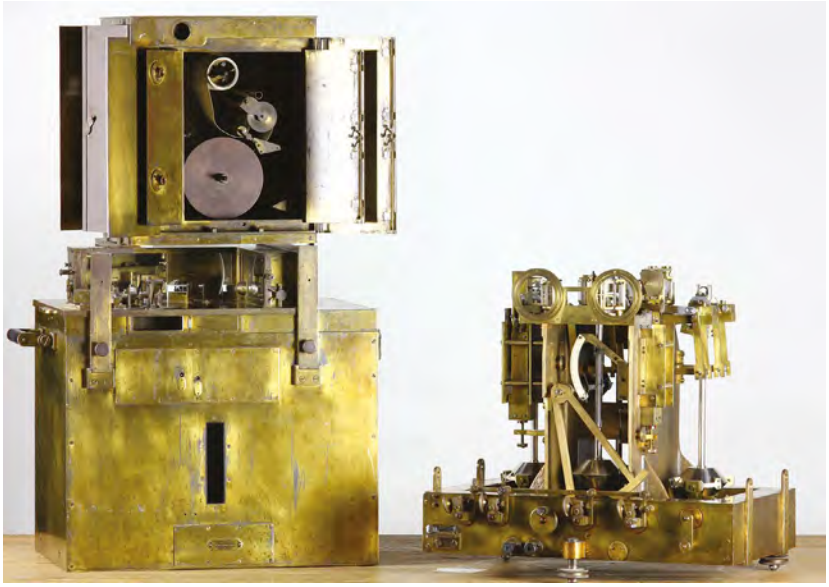
Bovendien bleek dat het gemeten zwaartekrachtsignaal over de Mid-Atlantische Rug verschilt van dat boven subductiezones in Oost-Indië (toen nog genaamd Vening Meinesz gordels). Dezelfde zwaartekrachtsignalen werden gevonden in West-Indië, waar Harry Hess, een jonge Amerikaanse wetenschapper, die verantwoordelijk was voor de Amerikaanse zwaartekrachtcampagnes. Harry Hess werd beroemd door zijn theorie over dynamiek van de Mid-Atlantische Rug [6], een essentiële stap naar het begrijpen van plaattektoniek. Beide onderzeese geologische structuren worden gekarakteriseerd door seismische activiteit en vulkanisme, maar door hun zwaartekrachtsignalen wisten Vening Meinesz en Hess dat ze hier met twee verschillende processen te maken hadden.



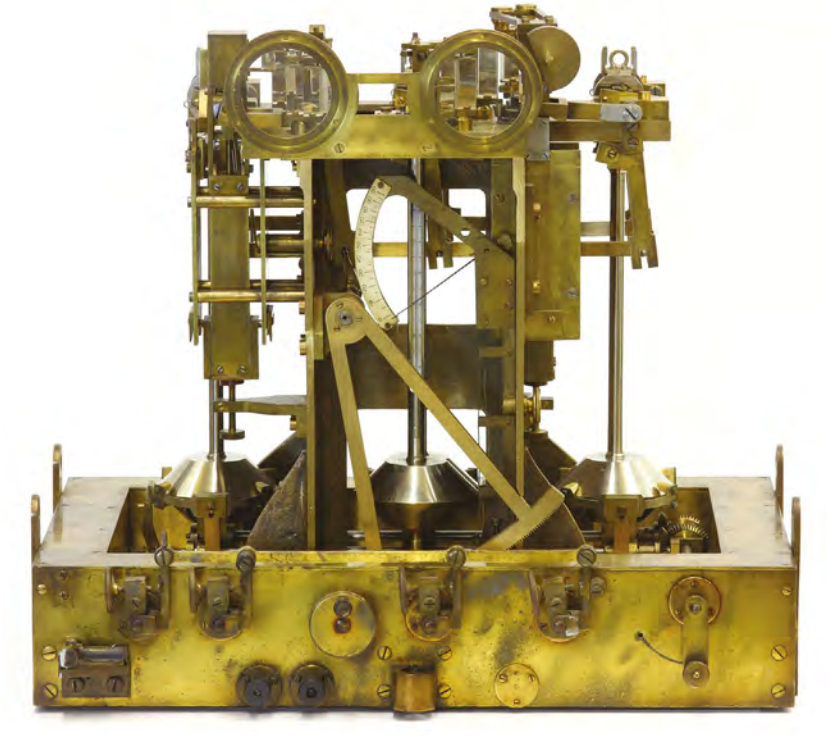
Figuur 1 | Zwaartekrachtsversnelling (verticaal uitgezet) gemeten tijdens de reis met de onderzeeër K-XVIII. (a) De observaties zijn geplot in chronologische volgorde tijdens de tocht van de K-XVIII. (b) De observaties zijn geplot met betrekking tot hun locatie ten opzichte van de evenaar (breedtegraad). Hierdoor is the ellipsoïde vorm van de aarde te zien.

Tot 1960 was 'Het Gouden Kalf' het enige instrument dat het zwaartekrachtsveld op de oceanen met hoge nauwkeurigheid kon meten. Een van de laatste wetenschappelijke expedities met het instrument was in 1960 [7] een meetcampagne in de Zuid-Atlantische en Indische Oceaan. Het instrument werd voor onderzoek ook uitgeleend aan een groot aantal buitenlandse instituten. Het werd later vervangen door de nauwkeurigere Graf-Askania, een veer-gravimeter. 'Het Gouden Kalf' heeft 35 jaar lang oceaangravimetrie mogelijk gemaakt.

Het originele slingerapparaat van de in 1939 tot buitengewoon hoogleraar benoemde Delftse geofysicus en geodeet vormt nu een onderdeel van de erfgoedcollectie van de TU Delft, en is momenteel in bruikleen bij het Science Centre van de TU Delft. Daar zal het worden geplaatst in een openbare afdeling over geodetische geschiedenis Een projectgroep van TU Delft heeft in 2014-2015 de K-XVIII expeditie bestudeerd en gedocumenteerd, met speciale aandacht voor 'Het Gouden Kalf', als onderdeel van een grotere erfgoedproject *Expeditie Wikipedia*. Voor het resultaat zie de interactieve website: http://expeditiewikipedia.nl/#vening-meinesz.



Figuur 2 | 'Het Gouden Kalf' compleet.



Figuur 3 | 'Het Gouden Kalf' in vooraanzicht.

De Banka-boor, een klassieker onder de innovaties

B. Manders

De Banka-boor is een prima voorbeeld van een eenvoudige maar ingenieuze innovatie uit Delft. De vraag naar een betere grondboor kwam in het midden van de 19de eeuw uit Nederlands-Indië, waar tinzanden werden ontgonnen op de eilanden Banka en Billiton, die nabij de zuidpunt van Sumatra liggen. Omdat onderzoek met de traditionele Chinese steekboor niet nauwkeurig was, ontwierp de jonge Delftse mijnbouwingenieur J.E. Akkeringa een compleet nieuw type grondboor. De uitvinding is met succes in Indië toegepast en wordt nog steeds over de hele wereld gebruikt voor onderzoek van ondiepe sedimenten in moeilijk toegankelijke gebieden.

Van het grootste belang

De tinzanden op Banka, die sinds het begin van de 18de eeuw door Chinezen werden ontgonnen, kwamen in 1816 onder beheer van de Nederlands Oost-Indische overheid. In 1851 ontdekte John Loudon, samen met baron Van Tuyll, Cornelis de Groot en Johannes den Dekker, op het vlakbij gelegen Billiton hetzelfde soort tinerts. Op beide eilanden besefte men dat voor een efficiënte ontginning een nauwkeurige kartering nodig was. De rijkste ertslaag (kong) ligt vaak op een diepte van 5 tot 10 meter onder een pakket van waterverzadigde zanden. Het graven van putten was onmogelijk omdat het natte zand naar binnen bleef schuiven. De Chinese mijnwerkers spoorden het erts op met de 'tji-am'; een ronde ijzeren staaf van 4 meter lang en 2 cm dik. Aan de onderzijde zat een een holle kegel met de punt naar beneden. De mijnwerkers drukten de boor in de grond en als ze de harde ertslaag onder het zachte zandpakket voelden, werd met de holle kegel een klein monster omhoog gehaald. Zo kon het tingehalte ruwweg bepaald worden. Deze beperkte methode met een gering dieptebereik gaf Loudon te denken. Op 21 mei 1853 schreef hij in zijn dagboek:

> *"Ik moet een boor hebben in de trant van de tjam, maar een buis die onderaan opent en sluit om de verschillende lagen te onderzoeken. Dit is misschien te doen door de gehele tjam hol te maken en door deze holte een mechanique te brengen. In ieder geval een boor die tot op 20 voet diepte de lagen in hun opvolging kan onderzoeken en de kong omhoog haalt. Een instrument dat aan die eisen beantwoordt is 10 000 gulden waard aan geld en tijd, buiten de onberekenbare waarde voor de ontginning. Prins Hendrik of Van Tuyll moet hiervoor een prijsvraag uitschrijven bijvoorbeeld van 1000 gulden. Het is van het grootste belang voor de onderneming."*

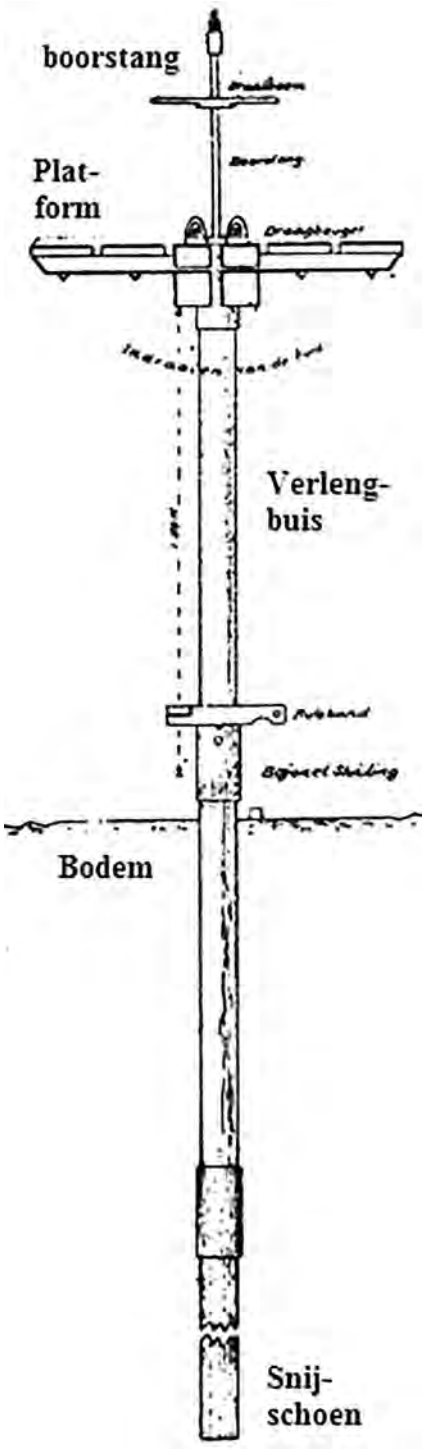
Johannes Akkeringa

Welke route Loudons idee volgde, is niet goed na te gaan, maar Cornelis de Groot, de toenmalige *Chef van het Mijnwezen Nederlands Oost-Indië*, liet in 1854 voor Banka een zestal in elkaar passende ijzeren cilinders fabriceren. Deze hadden een vaste hoogte van 152 cm en doorsneden die afliepen van 109 tot 68 cm. Met deze verticale telescoop kon men putten tot een diepte van 9 meter graven, waarbij in de smalste cylinder een gehurkte werkman nog net het diepste sediment kon opscheppen. De putwanden bleven overeind, maar de cylinders bleken te zwaar om door de wildernis te vervoeren en onder het grondwaterniveau bleef de put niet droog. De jonge mijnbouwingenieur Akkeringa, die toen voor het Mijnwezen op Banka werkte, dacht goed na over cylinders, nat zand en erts. Hij kwam met een nieuw concept.

Figuur 1 | Johannes Evert Akkeringa, 1829 Weesp – 1864 Buitenzorg, getekend door zijn zoon.

Johannes Evert (J.E.) Akkeringa (1829-1864) was de vijfde mijnbouwer die aan de Koninklijke Academie in Delft afstudeerde. Hij kwam in dienst van het Mijnwezen, begon op Banka en deed later onderzoek op andere eilanden in Oost-Indië, zoals op Billiton waar hij tinaders onderzocht. Omdat Akkeringa te jong was voor een echte decoratie, ontving hij een gouden ketting en een gouden horloge met inscriptie van Prins Hendrik. De Prins, die samen met Loudon en Van Tuyll aandeelhouder in de Billiton Onderneming was, schreef onder andere: "Van harte hoop ik dat u dit aandenken onder genot van gezondheid en voorspoed een reeks van jaren kunt gebruiken in uw nuttig en werkzaam leven." Zoals verschillende van zijn mijnbouw-collega's was Akkeringa niet bestand tegen het ongezonde leven in de tropen en overleed aan typhus die hij in Borneo had opgelopen. De twee jongetjes en het dochtertje uit zijn verhouding met een jonge Chinees-Javaanse vrouw gingen terug naar Nederland. De oudste zoon werd de bekende Haagse schilder Johannes Evert Hendrik (J.E.H.) Akkeringa (1861-1942).

Nauwkeurig onderzoek



Akkeringa ontwierp een roodkoperen buis met een diameter van ongeveer 10 cm en een lengte van 3 meter. De onderzijde was voorzien van een zachtstalen snijschoen. De eerste buis werd in de grond geduwd en verlengd met buizen van kortere lengtes, maar dezelfde diameter, waarbij de verbindingen met boutjes werden vastgeschroefd. Om de wrijfweerstand tussen de buis en het zand te overwinnen, werd een rond platform aan de bovenste buis bevestigd, waarbij het gewicht van vier man op het platform de benodigde verticale kracht gaf. Als de weerstand toch nog te groot was, kon de buis gedraaid worden met horizontale stangen. Na het bereiken van het diepste punt, wipte men de buizen weer omhoog door een omgekapte boomstam als hefboom te gebruiken. De sedimenten werden onderzocht door de inhoud van de buizen vanaf het platform met lange ijzeren staven omhoog te halen. Aan de onderkant van de staaf zat een schroefboor voor zand- en kleilagen, of een kogelklepboor voor het erts. Door die sedimentmonsters in schotels te wassen, spoelde de lichte zand- en klei-fractie weg en bleven de zware mineralen, zoals korrels van het tinmineraal cassiteriet, achter. Metingen van de dikte van de ertslaag, het tingehalte en de posities van de boorgaten maakten het mogelijk om de omvang en de waarde van het ertslichaam nauwkeurig te karteren en te berekenen.

Figuur 2 | Verticale opbouw van de Banka-boor.

Wereldwijd vanuit Nederland

Aan de hand van Akkeringa's ontwerp werd in Amsterdam de eerste boor vervaardigd en in 1860 naar Banka verscheept. Het prototype voldeed uitstekend en verbeterde versies (stalen buizen van 1,5 meter met schroefdraad) volgden. De Billiton Onderneming kreeg een afschrift en bestelde ook een boor in Nederland, waarna begin 1862 iemand uit Banka naar Billiton kwam om het personeel te instrueren. Vooral door de toen slechte organisatie op het eiland werd 'de groote boor' maar weinig gebruikt, raakte beschadigd en belandde in een pakhuis. Pas in 1869 realiseerde Cornelis de Groot, die Hoofd Mijnbouw op Billiton was geworden, zich het belang van degelijk grondonderzoek en besloot om de bestaande boor te herstellen en een tweede te bestellen. Vijf jaar later waren er vier zulke boortoestellen en op het hoogtepunt in 1908 bijna vijftig. De voordelen van de Banka-boor zijn dat de onderdelen met mankracht over smalle paden vervoerd kunnen worden en er geen motoren nodig zijn. Het toestel kan ook vanaf een drijvend ponton boren. Nadat rond 1900 de Banka-boor, zoals het apparaat bekend stond, ook in Suriname voor goudexploratie was geïntroduceerd, kreeg deze wereldwijde belangstelling.

Figuur 3 | Tekening uit 1874 van Banka-boor met de Tji-am in de achtergrond.

Een van de vele gebruikers op Banka was C.J. van Loon, 'ingenieur der 2de klasse' die voor het Mijnwezen tussen 1888 en 1894 een aantal valleien systematisch heeft laten onderzoeken. In 1902 werd Van Loon benoemd tot hoogleraar in de delfstof-, aard- en mijnkunde aan de Polytechnische School, de latere Technische Hoogeschool. Twee jaar na zijn overlijden ontving de Afdeling der Mijnbouwkunde een miniatuur model van de complete Banka-boor van de Firma Figee. Zorgvuldig bewaard in een speciaal kistje, zwart van buiten en rood van binnen, is het nog jaren gedemonstreerd bij mijnbouwcolleges. In zijn Openbare Les vertelde Marcel G. Atjak (lector TH Delft, 1975-1980) dat de Banka-boor nog steeds in gebruik is en hoe het toestel verder werd ontwikkeld.

Figuur 4 | Miniatuur model van Banka-boor, geschonken in 1917 door de Firma Figee.

Vanuit Nederland zijn er honderden Banka-boren over de hele wereld verkocht. Een belangrijke producent was de Werf Conrad in Haarlem die in 1883 door Thomas Figee was opgericht. De firmanaam 'Conrad' was een eerbetoon aan ir. F.W. Conrad, één van de oprichters van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs (KIVI). In 1941 is het bedrijf opgegaan in *Conrad-Stork* en via verschillende transacties ontstond in 1991 het huidige *Conrad-Stanen*, dat in Emmeloord een breed scala aan high-tech grondboorinstallaties ontwerpt en produceert.

De rol van de kristalkunde binnen de TU Delft

K.J. Weber

De lotgevallen van de mineralenverzameling

In 2012 vierde het Mineralogisch-Geologisch Museum aan de Mijnbouwstraat te Delft zijn honderdjarig bestaan. De basis daarvoor was reeds gelegd door professor Vogelsang, hoogleraar van 1864 tot 1874. Hij vond dat een collectie mineralen onmisbaar was voor de opleiding mijnbouwkunde. Hoe moesten studenten anders mineralen leren herkennen?

Studenten, medewerkers en alumni verzamelden mineralen, ertsen en gesteenten van over de hele wereld. In de glorietijd stuurden mijnbouwkundige ingenieurs soms hele kratten met stenen op naar het museum. In bijna 150 jaar groeide de collectie uit tot 150 duizend stuks, bestaande uit een systematische en unieke verzameling van diverse klassen mineralen, die tot voor kort een belangrijke rol speelde bij het onderwijs in de technische aardwetenschappen.

Helaas kwam daaraan een einde toen de afdeling verhuisde naar de nieuwbouw bij Civiele Techniek. Het museum kwam letterlijk en figuurlijk op afstand te staan van het onderwijs, waardoor de studenten er minder intensief gebruik van maakten. Het College van Bestuur zag het museum niet langer als een waardevol onderdeel van de Universiteit en wilde de ruimte voor andere doeleinden gebruiken.

Zodoende kwam het voortbestaan van het museum in 2013 aan een zijden draadje te hangen. Door de inzet van alumni van de (oude) faculteit Mijnbouwkunde en de financiële steun van enkele bedrijven werd een oplossing gevonden. Een deel van de verzameling werd overgenomen door museum Naturalis in Leiden. Wat overbleef werd verplaatst naar een andere, voor dit doel geheel gerenoveerde verdieping, de zogeheten “Dietsmann” zaal. Deze zorgvuldig geclassificeerde verzameling is nog steeds zeer bezienswaardig. De verzameling werd onder grote belangstelling op 23 April 2015 feestelijk geopend. De vrijgekomen oorspronkelijke ruimte werd ingericht als vergaderzaal, de “Mekelzaal”, genoemd naar de in 1942 in het verzet omgekomen prof.dr.ir. J.A.A. Mekel.

De kristallografie was lange tijd een onderdeel van de mineralogie en was voornamelijk gericht op de beschrijving van de uitwendige vorm en optische eigenschappen. Sinds de ontdekking van Von Laue in 1912 van de interferentieverschijnselen van röntgenstralen bij hun doorgang door kristallen en de toepassing van kristallen in de radiotechniek en de optische industrie omstreeks 1920, is het belang van de kristallografie sterk toegenomen.

Figuur 1 | Enkele voorbeelden van gekweekte kristallen.

Bij de Afdeling der Mijnbouwkunde waren kristallografie en mineralogie hoofdvakken, aanvankelijk voornamelijk gericht op het identificeren en analyseren van mineralen en gesteenten. Voor dr.ir. W.F. de Jong, afgestudeerd als mijningenieur in 1922, werd dit het vakgebied waaraan hij zijn hele werkzame leven heeft gewijd. Hij promoveerde in 1928 cum laude op een dissertatie over de kristalstructuur van verschillende mineralen. De Jong was een begaafd experimentator die gebruik maakte van de modernste apparatuur in het Delftse röntgenlaboratorium. Samen met dr. J. Bouman construeerde hij de retigraaf, een bijzonder instrument voor de structuurbepaling van kristallen.

In 1948 werd De Jong benoemd tot lector, waarna hij, in samenwerking met dr. J. Bouman, het doorwrochte "Compendium der kristalkunde" schreef, allereerst ten behoeve van zijn eigen onderwijs. Maar dat bleek zozeer in een behoefte te voorzien dat het vertaald werd in het Engels, Duits en Spaans. Daarnaast verschenen vele andere publicaties van zijn hand over kristallografie. In 1951 werd het nieuwe, uitgebreide laboratorium voor kristallografie geopend. In de woorden van De Jong:

> *"In aanwezigheid van ongeveer vijftig genodigden werd de nieuwe behuizing op een der keurig vertimmerde zolder ruimten van het Mijnbouwgebouw het Laboratorium voor Kristallografie met het pas ingerichte onderdeel: de kristalkwekerij door de Voorzitter der Afdeling officieel geopend. Het hoogtepunt van deze kleine plechtigheid in zaal 96 bestond uit het uit een gestyleerde thermostaat tevoorschijn brengen van een glazen cylinder met een tros van drie fraaie enige cm grote aluin kristallen, een der eerste producten van de kwekerij".*

Niet onvermeld mag blijven dat het De Jong was die het initiatief nam tot de instelling van een technisch museum, waarvan een nadere uitwerking werd opgenomen in het Ontwikkelingsplan 1969-1972 van de Hogeschool.

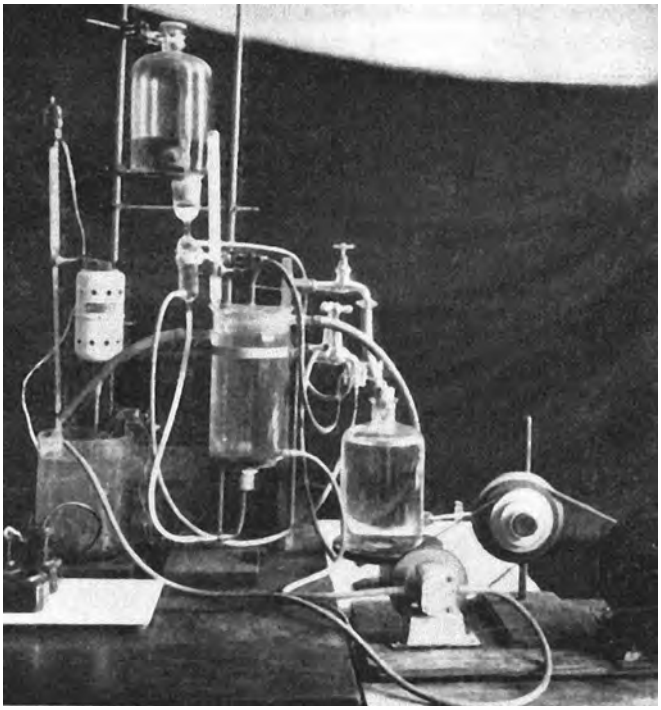
Figuur 2 | Gekweekte kristallen; ware juweeltjes.

De veelvuldige toepassingen van kristallen

De technische toepassing van gekweekte kristallen ligt vooral op het gebied van de optica en de elektrotechniek, terwijl ook de edelsteenindustrie steeds meer gebruik maakt van synthetische kristallen. In de optiek wordt gebruik gemaakt van de doorschijnendheid van kristallen van verschillende zouten, zoals NaBr, KBr, CaF_2, AgCl, voor infrarood licht. Uit zuivere, volkomen heldere kristallen van enige kilo's worden prisma's en lenzen geslepen en gebruikt in spectrometers voor de analyse van kraakgassen en andere organische mengsels.

Een belangrijke eigenschap van kwartskristallen is het verschijnsel van de piëzo-elektriciteit. Als een kwartskristalstaafje wordt samengedrukt in een bepaalde richting t.o.v. het kristalrooster ontstaat tussen de uiteinden een potentiaalverschil. Deze eigenschap kan gebruikt worden in versnellingsmeters voor het registreren van de afgelegde weg in drie dimensies. Dat vindt o.a. toepassing bij "wireline logging" in boorgaten voor oliewinning om de positie van het boorgat op elke diepte te bepalen. Ook bij torsie van een kwartskristal ontstaat een spanning tussen de kristalvlakken. Hierop berust de werking van een kristal pick-up van een grammofoon. Radio's en horloges maken gebruik van kwartskristallen die in hun eigenfrequentie trillen. In moderne telescopen worden piëzo-elektrische kristallen gebruikt voor de compensatie van het effect van turbulentie in de dampkring

op de beeldscherpte. Tegenwoordig is de belangrijkste toepassing die van zuivere kwartsplaatjes als halfgeleider in computerchips.



Figuur 3 | Opstelling voor het kweken van kristallen uit een verzadigde oplossing, door middel van koeling [1].

Onderzoek van internationale faam

De kwekerij was ingericht in een negental aangrenzende kamers op de bovenverdieping van het Instituut voor Mijnbouwkunde. Deze omvatte een röntgenkamer, een donkere kamer voor optische werkzaamheden, kamers voor scheikundig onderzoek, een werkplaats en kamers voor het kweken van kristallen. Dat laatste gebeurde op verschillende manieren: in een afkoelend of verdampende oplossing, in een afkoelende smelt, in een onderkoelde nevel, in ontledend gas (wolfraam), in superkritische damp, langs elektrolytische weg of onder hoge druk. Hierbij werd gebruik gemaakt van een batterij van zeven thermostaten om bijvoorbeeld uit gecontroleerd langzaam afkoelende oplossingen kristallen te laten groeien van seignettezout, aethyleen-diaminetartraat en andere piëzo-elektrische kristallen. In een speciale ovenkamer werden NaCl en $NaNO_3$ kristallen gekweekt. In een afzonderlijke ruimte werden kwartskristallen geproduceerd uit een waterige oplossing bij een superkritische temperatuur van ca. 400 °C en drukken van meer dan 1000 atm. Verder was er een

opstelling volgens Verneuil waarin korundkristallen met behulp van een nevel van Al_2O_3-druppels werden opgespoten. In figuur 1 zijn voorbeelden van gekweekte kristallen weergegeven. Figuur 2 toont de opstelling voor het kweken van kristallen uit een verzadigde oplossing.

Het laboratorium trok veel belangstelling uit binnen- en buitenland. Van de vele bezoekers bleven er een aantal geruime tijd werken als hospitant. Ook trof men er medewerkers aan, gedetacheerd door TNO en afstudeerders en promovendi uit verschillende studierichtingen. Uiteindelijk is het laboratorium ondergebracht bij de Afdeling der Scheikundige Technologie vanwege het grote interdisciplinaire belang van dit onderzoek. Daar is in de jaren '70 en '80 onderzoek gedaan aan (industriële) kristalgroei door dr. P. Bennema en prof. Gerda van Rosmalen. Bennema was lector in de kristalkunde van 1969-1976 en werd daarna hoogleraar in Nijmegen. Binnen de toenmalige afdeling Technische Natuurkunde hebben prof. P. de Wolff en later dr. H. van Koningsveld gewerkt aan de technische verbetering van röntgendiffractiemethoden voor de analyse van kristallen. Sinds lang is kristallografie echter ook bij Scheikundige Technologie van het programma verdwenen.

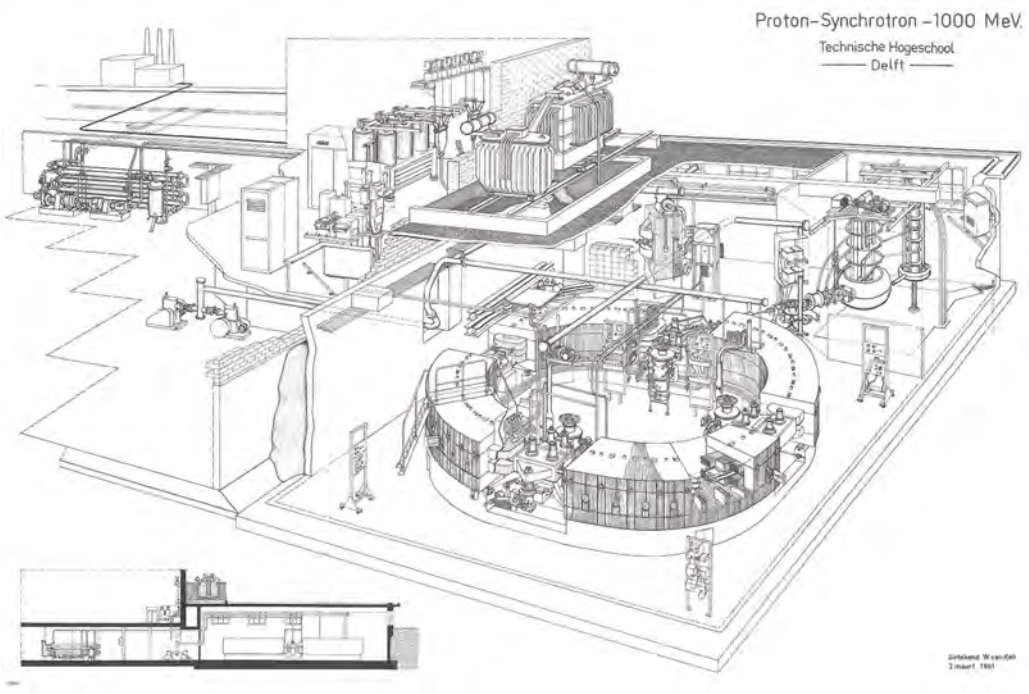
Figuur 4 | Zaal met mineralogische collectie in het Science Centre van de TU Delft.

ELEKTROTECHNIEK, WISKUNDE EN INFORMATICA (EWI)

Het Delftse proton-synchrotron van prof.dr.ir. F.A. Heijn

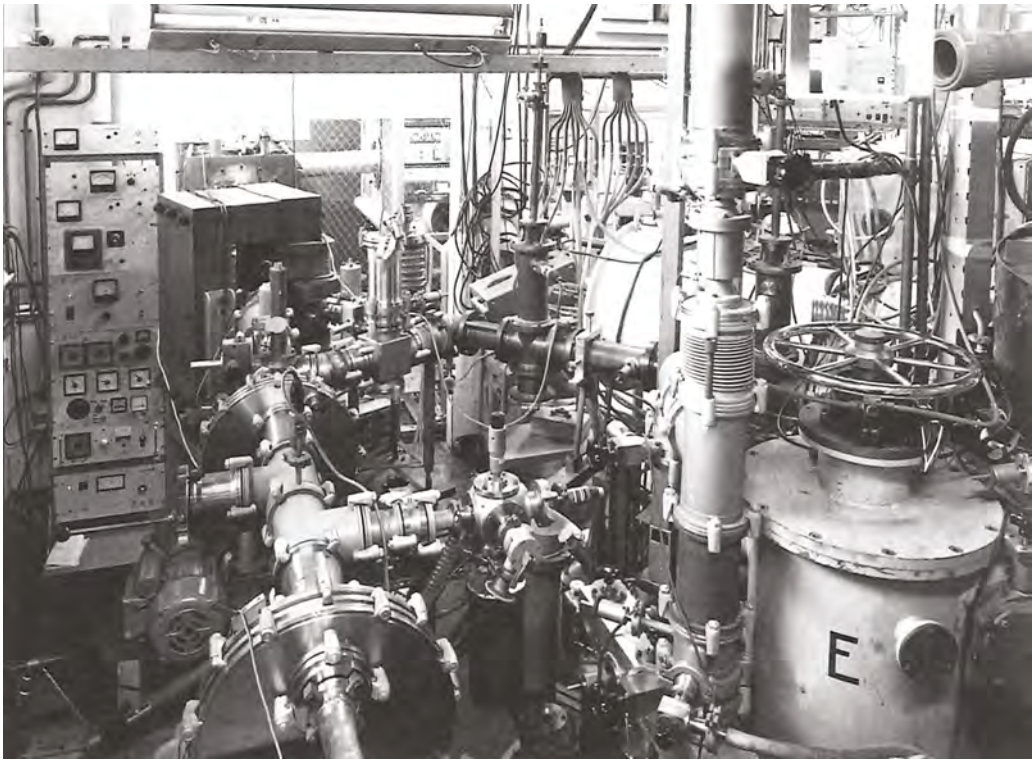
Dap Hartmann

In 1949 vatte prof.dr.ir. F.A. Heijn het plan op voor de constructie van een proton-synchrotron, een machine waarin protonen in een ringvormige vacuümbuis rondlopen en bij iedere rondgang iets worden versneld. Hij manifesteerde zich daarmee als een pionier van het versnellen van geladen deeltjes want het eerste operationele proton-synchrotron, het 3-GeV Cosmotron in Brookhaven (USA), dateert van 1952. Versnelde protonen worden gebruikt in kernfysisch onderzoek. Het is onbekend welke wetenschappelijke toepassingen Heijn in zijn financieringsaanvraag noemde als rechtvaardiging voor dit project, maar het lijkt erop dat hij van meet af aan niet van plan was het proton-synchrotron voor onderzoek beschikbaar te maken. Diverse malen verklaarde hij nadrukkelijk dat de machine slechts was bedoeld als leermiddel en studieobject voor studenten.



Figuur 1 | Ruimtelijk overzicht van de proton-synchrotron faciliteit van prof. A.F. Heijn.

Heijns machine moest protonen kunnen produceren met een energie van 500 mega-elektronvolt (MeV) en later zelfs 1000 MeV (1 GeV). Het College van Curatoren (CvC) van de toenmalige Technische Hogeschool (TH) Delft zegde een half miljoen gulden toe. Dat was echter bij lange na niet genoeg en daarom werd eerst uit een ander budget een apart gebouw gefinancierd voor het huisvesten van de machine. De eigenlijke bouw van het proton-synchrotron begon omstreeks 1954. Om kosten te besparen werden allerlei creatieve oplossingen gevonden. Zo werden de vele benodigde vacuümkranen niet gekocht, maar vervaardigd door de werkplaats van Elektrotechniek. Dat was veel goedkoper omdat alleen de materiaalkosten in rekening werden gebracht. Arbeidsloon werd niet doorberekend. Een bijkomend voordeel was dat de werkplaats op die manier grote ervaring kreeg in het maken van dit soort hoogwaardige componenten.



Figuur 2 | De realisatie van de proton-synchrotron: een haast onvermijdbare en schijnbare wirwar van leidingen en apparatuur.

De protonen die aanvankelijk in het synchrotron werden ingebracht, waren afkomstig van een speciaal vervaardigde Van de Graaff-generator. Ze hadden slechts een energie van 0,5 MeV, en moesten dus langere tijd in het proton-synchrotron worden versneld. Daarom liet Heijn een cyclotron bouwen om de startenergie te verhogen tot 10 MeV. De berekeningen om de magneetpolen in het cyclotron

de juiste focussering te geven, werden uitgevoerd door Khoe Kon Tat, de beste theoreticus waarover Heijn beschikte. Khoe Kon Tat deed alles met een rekenliniaal want de afdeling beschikte nog niet over een computer. Hij zat de godganse dag met die liniaal te schuiven, en hij zei verder niets. Als je hem liet zien hoe hetgeen hij berekend had er uit zag, dan zei hij: "Dat is heel interessant, maar ik moet nu weer aan het werk".

Bij iedere rondgang wonnen de protonen slecht 170 Volt. Om ze van 10 MeV naar 1 GeV te versnellen, moesten er dus zo'n 6 miljoen rondjes worden afgelegd, een lengte gelijk aan viermaal de omtrek van de Aarde. Dat gebeurde binnen een tijdsbestek van één seconde. Omdat bij iedere rondgang de snelheid van de protonen toeneemt, moet het magneetveld telkens wat sterker worden, anders blijven ze niet in hun baan. In werkelijkheid was het andersom. De sterkte van de magneet liep binnen één seconde op tot de maximale waarde (een sterkte van 17 000 Gauss, waarvoor een vermogen van vier megawatt nodig was), en ondertussen werd de versnelling van de protonen aangepast aan het magneetveld. Zo bleven ze in hun baan. Bovendien moest er in de buis een extreem vacuüm heersen (minder dan één miljardste bar), om botsingen tussen de protonen en luchtmoleculen zo veel mogelijk te vermijden.

In het Hoogspanningslab werkten ongeveer 50 mensen aan het project, aangevuld met mensen in de werkplaatsen en de tekenkamers. Heijn gaf regelmatig 'peppraatjes' waarin hij vertelde wat hij allemaal van plan was te gaan doen, dat het uniek was wat ze aan het maken waren, en dat ze blij moesten zijn dat ze er aan mee mochten werken. Hij liet nooit ergens openlijk zijn waardering voor blijken. De grootste pluim die je van hem kon krijgen was: "Dat is niet gek". Het laboratorium kreeg regelmatig bezoek van fysici die dolgraag onderzoek wilden doen met de versnelde protonen. Dat lag echter helemaal niet in de bedoeling van Heijn. Als er gesproken werd over een bijgebouw voor het doen van experimenten, dan kapte hij dat meteen af. Er kwamen ook veel beroemde wetenschappers op bezoek, waaronder Madame Joliot-Curie (de dochter van Pierre en Marie Curie). Speciaal daarvoor had Heijn een gastenboek aangeschaft. Maar toen de Minister-president, de Minister van Onderwijs, en enkele andere hoge heren naar het proton-synchrotron in aanbouw kwamen kijken, liet hij het gastenboek weghalen met de opmerking: "Dat gastenboek is alleen voor belangrijke mensen."

Begin 1959 staat plotseling de locatie van de machine ter discussie omdat met een werkend proton-synchrotron de kans op storing van elektrische apparaten in de omgeving zeer groot is, en ook stralingsgevaar niet is uitgesloten. Het College van Curatoren wil daarom het proton-synchrotron buiten de afdeling plaatsen. Heijn is het daar niet mee eens en benadrukt dat dit uiterst moeilijk, kostbaar en tijdrovend zal zijn. Alleen wanneer daar zeer dringende redenen voor zijn, zou een verplaatsing verantwoord kunnen zijn. Voorts verklaart hij dat het proton-synchrotron in de eerste plaats bedoeld is als leermiddel en studieobject voor elektrotechnische en natuurkundige studenten. Het gebruik voor wetenschappelijk onderzoek ontmoedigt hij subtiel door te wijzen op de zeer hoge kosten van de benodigde waarnemingsapparatuur (een bedrag gelijk aan de kosten van het proton-synchrotron zelf) en op de noodzaak van de beschikbaarheid van speciaal geschoolde medewerkers.

Over het stralingsgevaar merkt hij op dat niemand op dat moment ook maar bij benadering weet hoe intensief en schadelijk die straling zal zijn.

In juli 1961 geeft minister Cals van met Ministerie van Onderwijs, Kunst en Wetenschappen (OKW) in overweging om het proton-synchrotron een plaats te geven in de nabijheid van Leiden, zodat kan worden geprofiteerd van de aan de Leidse Universiteit aanwezige faciliteiten. Twee jaar later wordt die draad weer opgepakt door de nieuwe minister van OKW, Marga Klompé. In mei 1963 schrijft zij: "Blijkt het [...] door prof. Heijn geconstrueerde proton synchrotron van 1 GeV, dat thans in Delft beproefd wordt, [...] geschikt te zijn voor onderzoek op het gebied van nucleonenfysica, dan komt de definitieve plaatsing dus aan de orde." De machine verplaatsen en gebruiken voor wetenschappelijk onderzoek zijn twee dingen waar Heijn mordicus tegen is. Nog geen jaar later deelt de opvolger van Klompé onverwacht mee: "Intussen zijn de plannen voor het onderzoek op het gebied der nucleonenfysica aanzienlijk gewijzigd en is [...] komen vast te staan dat het Delftse proton-synchrotron niet bij dit onderzoek zal worden gebruikt." Heijn heeft dus eindelijk zijn zin; nog voor het proton-synchrotron gereed is gekomen, is het al afgeschreven voor experimenteel onderzoek. Maar er dreigt een nieuw gevaar. De voorzitter-beheerder van Elektrotechniek meent nu dat de aanwezigheid van het proton-synchrotron niet meer van belang is voor de opleiding in de afdeling en overweegt om de machine buiten gebruik te stellen dan wel af te breken.

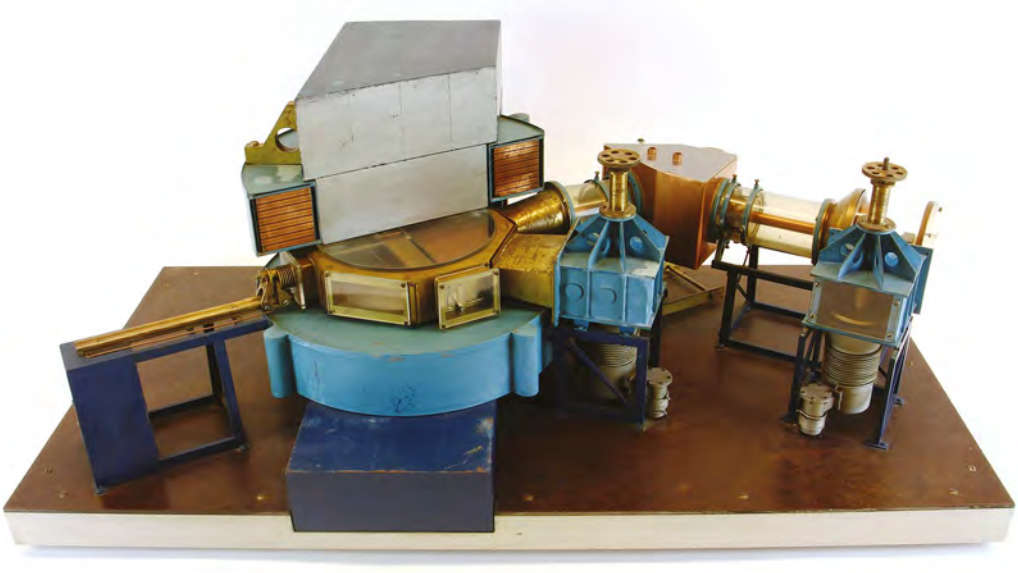
Net op tijd vindt er een wisseling van de wacht plaats en wordt prof. J.L. Bordewijk de nieuwe voorzitter-beheerder van de afdeling Elektrotechniek. In september 1964 schrijft hij aan het CvC: "In het stadium waarin het proton-synchrotron thans verkeert, is een versterking van de wetenschappelijke staf zeer gewenst." Niks afbreken dus, doorgaan! Een week later brengt de voorzitter van het CvC een bezoek aan Bordewijk en Heijn en rapporteert: "Naar de mening van beide hoogleraren is, in tegenstelling met vroeger aan het curatorium verstrekte inlichtingen, nog wel degelijk een belangrijk arbeidsveld aanwezig voor research en praktische wetenschapsbeoefening voor studenten aan het proton-synchrotron. Prof. Heijn deelde mede in feite verheugd te zijn over de laatstelijk door het ministerie van OKW. ter kennis gebrachte decisie, dat de machine in Delft zal blijven, waardoor voor hem de gelegenheid blijft deze verder te voltooien." Eind 1964 spreekt de afdeling Elektrotechniek zich in een brief aan het CvC volmondig uit voor het afbouwen van het proton-synchrotron.

Eindelijk, op 12 maart 1968, schrijft Heijn in een brief aan het CvC de verlossende woorden: "Tot mijn genoegen kan ik U mededelen dat het proton-synchrotron, dat reeds geruime tijd protonen met een energie van 750 miljoen Volt gaf, verder is opgevoerd en dat heden protonen met een energie van ruim 1 000 miljoen Volt werden geproduceerd. Hiermede is het gestelde doel bereikt." In het tijdschrift TH Mededelingen (1968, Nr. 7) publiceert Heijn een uitgebreid artikel getiteld: Het proton synchrotron bereikt één miljard Volt. Hij is duidelijk trots op het resultaat van bijna twintig jaar werk: "Men kan zeggen dat het proton-synchrotron geheel door de eigen werkplaatsen van de TH vervaardigd is. Het heeft heel wat jaren in beslag genomen. Dit is echter geen wonder bij een zo ingewikkelde machine. [...] In die jaren is het een bron van vele afstudeeropgaven voor studenten geweest. Dit was juist een van de belangrijkste redenen tot de bouw: de studenten de kans bieden aan de oplossing van

interessante elektrotechnische problemen mee te werken, die ver buiten de gewone liggen en juist zo leerzaam zijn. […] Circa 100 studenten hebben zo hun diploma verworven terwijl een vijftigtal anderen medewerkten (taken, assistentschappen, werktuigbouwkundige studenten) en elders hun diploma verwierven." Zelfs nu de machine is voltooid, piekert Heijn er niet over haar af te staan voor wetenschappelijk onderzoek: "Het proton-synchrotron zal in de toekomst niet gebruikt worden om met de snelle protonen fysisch onderzoek te doen ondanks het feit dat deze machine onder andere mesonen kan produceren, wat niet eerder in Nederland mogelijk was, en iedere atoomkern kan 'kraken'. De machine is van meet af aan bedoeld geweest als elektrotechnisch studie- en opleidingsmiddel."

Toen Jan Makkink in 1970 het Technisch Tentoonstellingscentrum (TTC) oprichtte, trof hij de nalatenschap van prof. Heijn in erbarmelijke staat aan. De Van de Graaff-generator was verdwenen en van de ingewikkelde elektrodes waren asbakken gemaakt. Het proton-synchrotron en het cyclotron stonden er nog wel, maar waren behoorlijk gekannibaliseerd. Ze zouden nooit meer hebben kunnen werken. Hij liet de machines afbreken en bewaarde alleen een aantal onderdelen dat interessant genoeg waren voor het TTC. Later is de collectie van het TTC ondergebracht in het Techniek Museum Delft, maar dat bestaat inmiddels ook niet meer. Bijna twintig jaar lang werkte een team van meer dan vijftig mensen onder de bezielende leiding van prof. Heijn aan de bouw van het Delftse proton-synchrotron. Het apparaat is nooit voor wetenschappelijk onderzoek gebruikt en het enig dat vandaag de dag nog resteert, is het houten schaalmodel.

(Dit is een bewerkte versie van het artikel "*De lange weg naar snelle protonen*" van Dap Hartmann [1].)



Figuur 3 | Het houten model is het enige dat vandaag de dag nog resteert van het proton-synchrotron.

Testudo: haar schepper en opvolgers

G.J. Olsder

De Testudo computer en zijn ontwerper, Willem L. van der Poel, zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Op 18 oktober 2016 heb ik Van der Poel geïnterviewd over zijn rol bij met name dit ontwerp, maar ook bij enkele latere computers.

Ik kom binnen op de werkkamer van Van der Poel, op de Technische Universiteit Delft, en vind hem tussen toetsenborden, draden met vele soorten stekkers, een aantal kleine machientjes, en schermen. Hij geeft me direct een dunne chip, die ik mag houden Daarop zit de hele ZEBRA en ook de talen Midial en Het. Alras blijkt dat Van der Poel graag over zijn computers praat (eigenlijk wist ik dat al van vroegere ontmoetingen), hij blijft enthousiast en gedreven. Ik hoefde in dit interview zo nu en dan alleen maar een beetje bij te sturen, of zelfs af te remmen. Hij hoopt binnenkort zijn 90ste verjaardag te vieren.

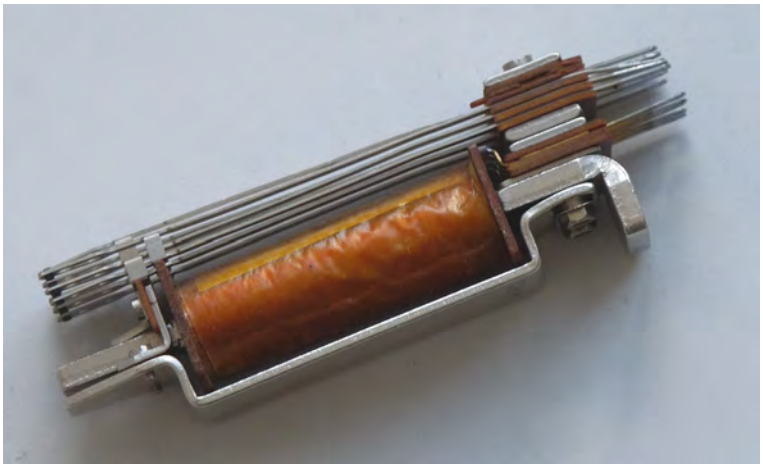
Zeg Willem, de Testudo moet in dit gesprek wel een beetje centraal staan.
Welnu daar staat hij, wijzend op de foto van een aan de muur hangende poster. De Testudo bestond uit vijf kasten, maar van ééntje zijn alle plug-in relais gestolen. Eéntje staat hier beneden in de kelder bij EWI (faculteit Electrotechniek, Wiskunde en Informatica), de anderen staan in het academische erfgoeddepot. Die kasten waren ruim een meter breed en 70 cm hoog. Je kunt straks veel vinden in een boek van Erik Verhagen, mijn biograaf, dat 2 november zal worden uitgereikt bij een herdenkingsbijeenkomst over Van Wijngaarden, mijn promotor. De Testudo heeft gedraaid van 1952 tot 1964. Het was de eerste analoge computer van de TU, en die werkte. Zij werd alleen gebruikt voor optische berekeningen van lenzenstelsels (bij de optica hoogleraar Bram van Heel, bij wie ik afstudeerde, en later ook bij TNO). Eén kast heb ik zelf gebouwd.

Wat betekent dat "zelf bouwen"?
Ik heb zelf de draadjes gelegd, zelf de relais allemaal afgesteld; de kast heeft de timmerman gemaakt. De andere kasten zijn door mijn opvolgers (ook studenten) gebouwd en toen is ie in 1952 eerst klaargekomen. In 1950 was ik al afgestudeerd en vervolgens vertrokken. Alle vier kasten waren nodig: de vijfde was voor extra geheugen. Alle kasten waren via koppelstekkers en dikke kabels met elkaar verbonden.

Hoe groot is zo'n relais? Vertel het even
Dat kun je beneden zien.
Grootte van een half sigarettenpakje. Een kast heeft enkele honderden relais (heel gewone relais hoor, van Siemens). Mooi verhaal: Kosten, hoofd van de mathematische afdeling van de PTT, had er 600 staan en die heeft ie als beginvoorraad aan mij gegeven. Kosten heeft toen flink op z'n donder

gekregen van G.H. Bast die toen algemeen manager van de PTT was; hij had die relais nooit mogen weggeven. Dit was deel van het afstuderen. Ik was toen speurwerk assistent van N.G. ("Dick") de Bruijn, die vrij snel hoogleraar in Eindhoven werd. We hebben elkaar goed leren kennen; we waren beiden KNAW-lid; hij is een goede vriend geworden. Ik had in 1944 al een tekening van een rekenmachine gemaakt. In 1947 of zo heb ik al een prijs gekregen, een eervolle vermelding, voor een inzending van een ontwerp van een machine. Uit dat ontwerp is uiteindelijk de Testudo ontstaan.

Bijzonder was dat de Testudo een ingebouwde worteltrekkingsfunctie had. Bij het doorrekenen van de optische stralengang moest zij sinussen (bij de invalshoek kon ze de sinus nog in een tabel opzoeken) later in cosinussen omzetten. Daar kon je geen tabellen voor gebruiken want daar had de machine te weinig geheugen voor. Heel uitzonderlijk dat je zo'n ingebouwde worteltrekking had.



Figuur 1 | Een plaatanker relais, een van de ruwweg duizend exemplaren in de Testudo.

Hoe doe je dat dan, je hebt toch alleen maar relais?
Je kunt alles doen, je kunt een rekenorgaan maken waarin je ook de worteltrekking kunt programmeren. Zat er echt ingebouwd in de hardware. Tegenwoordig doe je dat bijvoorbeeld met Newton-Raphson; die machines zijn snel genoeg tegenwoordig. Er is nu geen machine meer die een ingebouwde worteltrekking heeft (omdat worteltrekken weinig voorkomt). Bram van Heel vond het prachtig, die machine kon hij mooi gebruiken bij z'n optische proeven; met het apparaat zelf heeft hij zich nooit bemoeid. Doorrekenen van stralengangen door lenzenstelsels met de formules van Smith (heb ikzelf natuurlijk ook veel gedaan).

Je zou dus kunnen zeggen: "VdPoel stopte het onder de motorkap en Van Heel reed ermee".
Ja, ja, zo is het. Invoer ging met telexpapertape, met ponsgaatjes. vaste grootheden werden op een plugbord ingestoken. Met de invalshoeken, afstanden tussen lenzen, kon je spelen. Er was een schrijf-

machine aan gekoppeld die de antwoorden gaf. De oorspronkelijke naam van de Testudo was ARCO: Automatische Rekenmachine voor Calculaties in Optica. Anderen hebben later de naam Testudo, latijn voor schildpad, bedacht omdat ie zo langzaam was. Maar erg degelijk! Flinke trotse lach. De Testudo werd heel veel 's nachts zonder toezicht gebruikt. Kon in 16 uur evenveel als een mens in 8 uur zou hebben gekund (zonder pauze e.d.).

Figuur 2 | Testudo stappenschakelaar, welke werd geactiveerd door een relais rechtsonder.

Er was rivaliteit. ARRA (Automatische Relais Rekenmachine Amsterdam) was net een beetje eerder in werking in Amsterdam bij mijn promotor Van Wijngaarden. Maar die heeft maar veertien dagen gedraaid. Ze, daar in Amsterdam, eisten hoge snelheden van de relais en daarom hebben ze er pentodes bovenop gezet. Het was een fiasco. ARRA werd later omgebouwd tot ARRA II.

In feite is de Testudo een universele machine, een zgn. Von Neumann machine (die met z'n eigen instructies kan rekenen; data en programma zijn niet streng gescheiden). Heeft echter weinig geheugen. Het was een echte machine, maar met een geheugen van slechts tien registers, later uitgebreid naar 32 (een register kan een woord van 32 bits bevatten). Te weinig om een compiler in te bouwen. En met nadruk: het was een echte universele machine, een Turingmachine. Later, bij de PTT waar ik toen werkte, ontwierp ik de PTERA (PTT Elektronische Reken Automaat) en de ZEBRA (Zeer Eenvoudige Binaire Reken Automaat). Kosten bemoeide zich niet met de bouw; dat liet hij aan mij over. Kosten wilde een verkeersmachine bouwen voor telefooncentrales. Ik heb hem overtuigd dat niet te doen; die berekeningen kun je immers ook op een algemene computer doen.

De PTERA was een pure buizencomputer en heeft gedraaid gedurende de jaren 1953-1958. Het up/down percentage was 50/50. Heeft veel nuttig gerekend. Dit was een volledige machine, met compiler – met machinecode. ZERO samengesteld uit één van de rekken van PTERA, heeft 14 dagen proefgedraaid (eenvoudige besturing van 4 functionele bits). Algol kwam nog later. ZEBRA heeft 13 functionele bits (zoals optellen, ophalen, springen, positief of negatief, schoonmaken, a of b register). Dat was ZEBRA's kracht. Alle documentatie staat op dat ene chipje dat ik je gegeven heb, de hele Algol-compiler zit erop. De ZEBRA heeft hier gefunctioneerd gedurende de jaren 1958-1967. Toen kwam de TR4. Een sailmaker, zeilsnijder, in Southampton heeft de ZEBRA tot 1991 gebruikt om zoveel mogelijk zeilen uit grote lappen zeildoek te kunnen halen. De ZEBRA heeft 498 buizen en 509 transistoren. Het was een energieslurper: er stond een flinke generator in de kelder. Later kwam er een geheel getransistoriseerde ZEBRA in Delft.

Figuur 3 | De Testudo computer.

Ik las ergens dat iemand het Von Neumann karakter van de Testudo bestreden heeft.
Als je niet met je eigen instructies kunt rekenen kun je ook geen compiler bouwen. Compilers rekenen met hun eigen materiaal wat ze later gebruiken als programma.

Met o.a. Edsger Dijkstra was ik actief in de commissie van de "International Federation for Information Processing" (IFIP) die de algoritmische hogere programmeertaal ALGOL 68 ontwikkelde. Er was een verschil van opvatting over de filosofie van het programmeren tussen Dijkstra en mij; Dijkstra is theoretisch en fundamenteel, ik ben pragmatisch. En (met iets van een lichte sneer?): Dijkstra heeft nooit computers gebouwd. Ik geloof niet zo in correctheidsbewijzen. Mijn filosofie is dat er geen foute

programma's zijn. Het is alleen een ander programma dan je gedacht had. De meest elementaire stap is de conceptie van je hersens op het papier. Ik ben zeven jaar voorzitter geweest van de Algolcie. Een aantal leden ("dissidenten"), waaronder Edsger Dijkstra, zijn uitgetreden omdat zij Algol te ingewikkeld vonden. Pascal is eenvoudiger/sneller maar heeft een paar nare eigenschappen. Een voordeel is echter: Pascal is portable en je kunt snel compilers bouwen in een tussentaal (zoals Midial). Midial is zo te transporteren van de ene machine naar de andere. Midial staat ook op het pennetje.

Hoeveel promovendi heb je gehad?
Tien promovendi. Een nadeel van dit soort promotieonderzoek is dat het niet "blijvend" is, de onderwerpen beklijven niet. Als de machine waarop het onderzoek gebaseerd is niet meer gebruikt wordt heeft dat onderzoek ook geen nut meer. Een voorbeeld van onderzoek: timesharing-problemen op de PDP8. Een promovendus, Harry Oemrraw Singh, is hoogleraar in Paramaribo geworden en was één van de 25 mensen die vermoord zijn door Bouterse. Ik kon helaas niet bij zijn oratie zijn: ik was in Japan om LISP te doceren en had geen multiple entry visum voor Japan. Vijf van mijn promovendi zijn hoogleraar geworden.

Heb je nog veel wetenschappelijke contacten?
Het laatste jaar heb ik zes uitnodigingen voor (invited) lectures gehad. Ik ben kaderlid van de Linux-groep en van de Forth groep bij de HCC.

Het is tijd om het gesprek te beëindigen. Maar, zoals ook bij eerdere ontmoetingen, kom je hier niet zo maar weg. Van der Poel haalt deze keer geen puzzel uit z'n jasje of broekzak maar gaat direct naar de PC en toont een digitale uitvoering van een houten constructiepuzzel. En zo zijn we (eigenlijk alleen Van der Poel) nog even bezig geweest om te laten zien hoe geraffineerd een vijftigtal (?) langwerpige, niet convexe, blokken tot één geheel samen te voegen is waarvan je dan niet meer ziet of weet hoe dat geheel weer uit elkaar te halen is.

Wiskundige geometrische modellen: opkomst, erfgoed, ontwikkeling

P.Th.L.M. van Woerkom

Visualisatie

In het jaar 1816 formuleerde de Franse wiskundige J.D. Gergonne het volgende probleem: beschouw een familie van oppervlakken welke aan boven- en onderzijde zijn opgespannen door twee diagonalen van een kubus, en waarvan de zijranden op zijvlakken van die kubus liggen. Welke vorm heeft de minimale oppervlakte? Dit probleem werd in 1865 door H.A. Schwarz opgelost en geïllustreerd. Het vormde een stimulans voor Schwarz, Felix Klein en andere collega's om fysieke modellen van wiskundige oplossingen te gaan construeren om zo het gedrag van de wiskundige oplossingen enigszins te kunnen visualiseren en begrijpen. De modellen waren van metaal, van draad, van gips, van hout, van karton.

Een stroom van geometrische modellen

In Göttingen leidde de energieke aanpak van Schwarz en Felix Klein tot de constructie en de aankoop en verzameling van een grote variëteit aan geometrische modellen. Deze activiteiten vonden hun weerklank elders in Duitsland. Zeer actief was de firma L. Brill, die eind 19-de eeuw een veelheid aan modellen produceerde en op de markt bracht. Het werk van deze firma werd in 1899 overgenomen door M. Schilling, wiens catalogus uit 1911 grote bekendheid verwierf [4]. Ze beschrijft vele honderden modellen, met bijbehorende prijzen.

De modellen vonden grote aftrek, zowel binnen Europa als daarbuiten. Universiteiten die momenteel nog grote hoeveelheden modellen bezitten zijn onder meer die van Amsterdam, Arizona State, Dresden, Göttingen, Groningen, Illinois, Leiden, München, Pavia en Utrecht. Ook Delft bezit een aanzienlijk aantal modellen; een recent overzicht komt tot 80 [5].

Hedendaagse universitaire collecties van geometrische modellen bevinden zich veelal in zalen, in kantoren, op gangen van wiskunde faculteiten en opgeslagen in magazijnen. De stroom van aankopen zal wereldwijd vermoedelijk in de jaren dertig zijn opgehouden.

De modellen werden oorspronkelijk ontworpen voor didactische doeleinden. Maar sommige modellen zijn zo gecompliceerd en zo exotisch dat een didactische waarde waarschijnlijk alleen mag worden toegeschreven aan een klein aantal ervan.

Modellen werden ook gemaakt om het gedrag van bijzondere functies te visualiseren. Voor specifieke toepassingen waren modellen niet altijd aanwezig, of niet direct toegankelijk voor studenten. Hierin werd voorzien door grafische afbeeldingen verzameld door de wiskundigen Jahnke en Emde en gepresenteerd in hun boek "*Funktionentafeln mit Formeln und Kurven*" (1909). Second-best ten opzichte van visualisatie en betasten van een fysiek model, maar nu wel uitstekend toegankelijk voor de gehele universitaire gemeenschap:

Speelden de Delftse modellen een rol in Delft? De geschiedschrijving op dit punt is mager. Bekend is een foto van prof. David van Dantzig uit 1938. Men ziet hem daarop in een collegezaal, met naast hem onder andere een draadmodel van een hyperbolische paraboloïde (waarover later meer) en met de wiskundige beschrijving daarvan uitgeschreven op het schoolbord achter hem. Bij navraag blijkt dat hedendaagse TUD alumni zich herinneren dat draadmodellen en gipsmodellen door wiskunde docenten werden meegenomen naar colleges, zeker nog in de jaren vijftig en in het begin van de jaren zestig.

Ontwikkeling

Maar meer recent is een nieuwe en zeer productieve stroming ontstaan, die van virtuele modellen. Met behulp van krachtige symbolische formule manipulatie programma's voor digitale computers kunnen specialisten op betrekkelijk eenvoudige wijze en op zeer inzichtelijke wijze een spectrum van geheel nieuwe geometrische vormen genereren. Vormen die, met toevoeging van de juiste kleuren, een lust voor het oog zijn. Niet altijd didactisch bedoeld, maar dan wel van esthetische waarde [3].

Een kleine greep uit de Delftse collectie

Ter illustratie worden hierna vier Delftse modellen getoond. Omdat het hier om wiskundige modellen gaan kan enige wiskunde niet ontbreken. Voor de lezer met zuivere alfa-achtergrond zijn er in ieder geval nog de afbeeldingen voor zijn/haar visueel genot.

We beperken ons hier tot wiskundige modellen die geometrieën beschrijven in de driedimensionale ruimte. Beschouw dan ook een cartesiaans assenstelsel met coördinaten x en y in het horizontale vlak en z-coördinaat loodrecht daarop (verticaal).

> Model 1: ***Kegel***

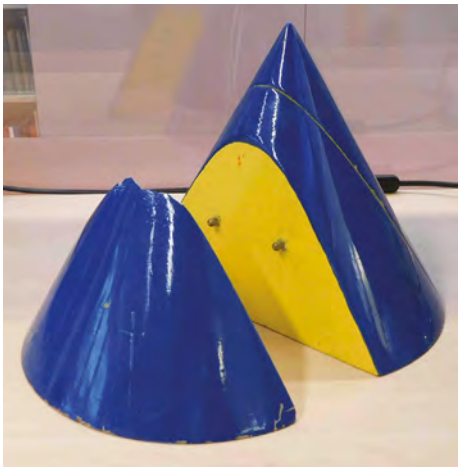
Een axi-symmetrische kegel (figuur 1) wordt beschreven door de vergelijking $x^2 + y^2 = a^2z^2$ waar a een constante is.

– Doorsnij de kegel met het horizontale vlak $z = z_0$ (constant). De snijlijn beschrijft dan een *cirkel*.
– Doorsnij de kegel met het verticale vlak $y = y_0$ (constant). De snijlijn beschrijft dan een *hyperbool*.

– Doorsnij de kegel met het scheve vlak $y = b\,(z - z_0)$ waar b en z_0 constanten zijn met $|b| > |a|$. De snijlijn beschrijft dan een *ellips*. Voor het speciale geval $|b| = |a|$ beschrijft de snijlijn een *parabool*.

De kegel heeft nog een overduidelijke eigenschap: het gekromde oppervlak kan ook worden beschreven door *rechte lijnen*. Men noemt dit oppervlak een regelvlak.

Een voorbeeld van een fysische betekenis:
wordt een ruimtevaartuig om de aarde gelanceerd, dan kan de gevolgde baan in het geval van een ideale bolvormige aarde beschreven worden door een cirkel, ellips, een deel van een parabool, of een deel van een hyperbool, afhankelijk van de initiële lanceersnelheid en lanceerrichting.



Figuur 1 | Enkelbladig kegeloppervlak met snedevlak.

> Model 2: ***Hyperboloïde***

Een axi-symmetrische hyperboloïde wordt beschreven door $x^2 + y^2 = a^2z^2 + b^2$ (figuur 2.)
– Doorsnij de hyperboloïde met het horizontale vlak $z = z_0$ (constant). De snijlijn beschrijft dan een *cirkel*.
– Doorsnij de hyperboloïde met het verticale vlak x = c y. Dit vlak gaat door de verticale as. De twee snijlijnen beschrijven de twee takken van een *hyperbool*.
– Merk op dat voor b = 0 de hyperboloïde ontaardt in een twee *kegels* met gemeenschappelijke rotatie as en elkaar rakend aan de tip.

Ook de hyperboloïde heeft nog de interessante eigenschap dat het gekromde oppervlak kan worden beschreven door *rechte lijnen*. Het is dus een regelvlak.

Figuur 2 | Draadmodel D 41 uit de studieverzameling van EWI: hyperboloïde (lichtblauw) en dubbele kegel (rose) als limietgeval.

Een voorbeeld van een fysische betekenis: prof. Frederik Th. K. van Iterson (hoogleraar TH Werktuigbouwkunde 1910-1913) kreeg wereldwijde erkenning voor zijn destijdse ontwerp van unieke koeltorens in de vorm van een hyperboloïde. Zoals reeds gezegd heeft deze vorm de eigenschap dat het oppervlak kan worden opgebouwd uit rechte lijnen. Omdat de vorm van de toren een regeloppervlak is bestaat de bewapening uit rechte staven, die eenvoudig kunnen worden gemonteerd. De constructie wordt daardoor kosteneffectief. De betonnen koeltorens kunnen zeer dunwandig worden uitgevoerd en toch stabiel blijven. Zie figuur 3.

Figuur 3 | De drie hyperboloïde koeltorens van de vroegere staatsmijn Emma te Heerlen, ontworpen door prof. F.K.Th. van Iterson [6]. Wereldwijd geroemd ontwerp, Rijksmonument, dus nationaal erfgoed, en in 1986 toch gesloopt …

> Model 3: ***Hyperbolische paraboloïde***

Een hyperbolische paraboloïde kan worden beschreven door de vergelijking $x^2 - y^2 = a^2 z$.

- Doorsnij het oppervlak met het horizontale vlak $z = z_0$ (constant). De snijlijn beschrijft dan de twee takken van een *hyperbool*.
- Doorsnij het oppervlak met het vlak $x = c\,y + d$ waar c en d constanten zijn.De snijlijn beschrijft dan een *parabool*.

Vandaar de benaming "hyperbolische paraboloïde" (figuur 4).

Figuur 4 | Gipsmodel DLib 24 uit de academische erfgoedcollectie van de TUD: hyperbolische paraboloïde.

Ook de hyperbolische paraboloï*de* heeft de interessante eigenschap dat het gekromde oppervlak kan worden beschreven door *rechte lijnen*. Ook dit oppervlak is dus een regelvlak.

Een voorbeeld van een fysische betekenis:
het dak van het Ochota treinstation in de stad Warschau heeft de vorm van een hyperbolische paraboloïde. Omdat het dak kan worden opgebouwd uit rechte balken is haar constructie relatief eenvoudig. Men noemt het ook wel een zadeldak.

De vooral bij de jeugd bekende Pringle potato chips hebben eveneens dit soort vorm!

> Model 4: ***Torus***

Beschouw het oppervlak beschreven door $[(x \cos \varphi + y \sin \varphi) - R_o]^2 + z^2 = r^2$ $(0 \leq \varphi \leq 2\,\pi)$
Deze uitdrukking beschrijft blijkbaar het oppervlak van een torus (een "doughnut"!) met radius van de centrumlijn gelijk aan R_o en radius van de torusbuis gelijk aan r .

- De dwarsdoorsnede van de torus is een *poloïdale cirkel* met straal r.
- De doorsnijding van de torus met het vlak z = a (waar a een constante is) is een *toroïdale cirkel*, mits $|a| \leq r$.

Een voorbeeld van een fysische betekenis:
een grote watertank in de Poolse stad Ciechanow heeft de vorm van een toroïde. Ze wordt ondersteund door een toren van hyperboloïde vorm.

> Vier nog niet-geïdentificeerde oppervlakken

In een deel van de collectie van de TU Delft, onder dagelijks beheer van de faculteit EWI, bevinden zich vier geometrische objecten waarbij de beschrijvende wiskundige vergelijking nog ontbreekt (figuur 5). Ook de betekenis van de lijnen aangebracht op die objecten moet nog worden onderzocht. Schoonheid van deze modellen kan niet ontkend worden. Reden om deze Delftse objecten hier toch af te beelden.

Figuur 5 | Niet geïdentificeerde oppervlakken, uit de collectie van de TUD (EWI Studieverzameling). Welke wiskundige beschrijving ligt hieraan ten grondslag?

Erfgoed

Alhoewel geometrische modellen al in de oudheid voorkomen, kwam pas in de tweede helft van de negentiende eeuw een systematische analyse en daaruit voortvloeiende visualisatie tot ontwikkeling. Daarbij en daarvoor werden de meest gecompliceerde geometrische modellen bestudeerd en vervaardigd. Een aantal van de algebraïsche vergelijkingen en de daarop gebaseerde geometrische modellen werden in het onderwijs gebruikt om de betekenis van algebraïsche resultaten

aanschouwelijk te maken en daarbij de studenten te stimuleren in hun wiskundig onderzoek. Veel van de geproduceerde modellen zijn ingewikkeld opgebouwd maar hun relevantie voor ingenieursopleidingen was en is minder duidelijk. De bestaande modellenverzamelingen wereldwijd geven een beeld van wiskunde onderwijs en wiskunde onderzoek zoals dat plaats vond tot ruwweg midden twintigste eeuw.

Sinds de opkomst van digitale computers met daarvoor te schrijven algoritmen en met algemene symbolische formule manipulatie programma's worden de mogelijkheden om de meest complexe en meest artistieke geometrische vormen te genereren relatief moeiteloos en welhaast eindeloos. Soms zijn animaties ingebouwd om het inzicht verder te vergroten.

De oude draadmodellen vormen bronnen van inspiratie voor veel kunstenaars en architecten. Zeer bekend is de creatie van Naum Gabó aan de Coolsingel in Rotterdam, nu een Rijksmonument. In de wereld van de architectuur kennen we Zaha Hadid, die wiskunde studeerde voordat zij haar carrière als architect begon. Continue geometrische oppervlakken keren steeds weer terug in haar wereldberoemde creaties.

De oude, fysieke modellen behoren tot het waardevolle en gekoesterde erfgoed van universiteiten wereldwijd. De geometrische modellen sindsdien geconstrueerd met behulp van digitale computers stijgen als een ware Phoenix uit de klassieke, fysieke modellenverzameling omhoog in een nieuwe en welhaast onbelemmerde vlucht.

INDUSTRIEEL ONTWERPEN

Iconen voor Industrieel Ontwerpen

J.J. Jacobs

Een jonge faculteit

Industrieel Ontwerpen, die jonge faculteit van de TU Delft, bestaat inmiddels meer dan vijftig jaar. Haar ontwikkeling, zeker in de jaren tachtig en negentig van de vorige eeuw, was stormachtig. Door de grote aandacht voor "design" in de maatschappij nam het aantal studenten per jaar aanzienlijk toe. Dat dit zijn consequenties had voor het evenwicht tussen onderwijs en onderzoek mag duidelijk zijn.

Als we bij Industrieel Ontwerpen (IO) praten over objecten die in het verleden een voorname rol gespeeld hebben in onderwijs of onderzoek dan zullen we, door die grote nadruk op het onderwijs bijna vanzelfsprekend uitkomen op producten die daarin zijn voortgebracht. Dat kunnen objecten zijn uit het ontwerponderwijs, maar ook uit andere onderdelen van het onderwijsprogramma, zoals vormstudie of technisch georiënteerde vakken. IO heeft altijd getracht om de meest kenmerkende objecten binnen het zogenaamde *Henri Baudet Instituut* te bewaren, als iconen van de faculteit.

De meest interessante objecten vinden we bij de afstudeerprojecten. Afstuderen vond bij IO grotendeels plaats in de praktijk en omdat het ook, volgens staf en studenten, om een "meesterstuk" ging, werd er navenant veel aandacht en energie gestoken in het maken van modellen of prototypen.

Sommige van deze projecten waren demonstratief voor wat de faculteit aan potentie had en werden in het onderwijs en onderzoek veelvuldig geciteerd of als startpunt gekozen voor verdere ontwikkeling. Deze projecten werden ook door IO in de media gebruikt om de intentie van de opleiding en het onderzoek onder de aandacht te brengen.

De ANWB Praatpaal

Een voorbeeld daarvan is het afstudeerontwerp van de huidige praatpaal door Chretien Gerrits rond begin jaren negentig.

De "praatpaal" maakte natuurlijk een ontwikkeling door. Men startte met een model dat we in Duitsland nog wel tegenkomen.

Vervolgens werd een "eigen" model ontwikkeld, in samenwerking met Philips. Een kenmerkend product door de twee oren die de gebruiker lijken af te schermen van het verkeerslawaai.

Om verschillende redenen gingen Rijkswaterstaat en de ANWB begin jaren negentig op zoek naar een vervanger. Die redenen waren onder andere: het netwerk waar de palen op waren aangesloten werd herzien, bij botsproeven bleek de zware metalen kop van de paal een gevaarlijk onderdeel. Ook was de paal niet goed te gebruiken door personen van verschillende lengte.

Vanzelfsprekend begon het project met een grondige analyse. En er werden verschillende testen uitgevoerd. Zo bleek dat de "oortjes" van de paal, die ogenschijnlijk het verkeerslawaai afschermden, deze functie niet konden vervulden. Langs een snelweg bestaat namelijk een dusdanige geluidsdruk, dat deze niet af te schermen valt. Een oplossing zou zijn het vermogen van de geluidsinstallatie op te voeren, maar door een wijziging in het netwerk was dat niet mogelijk.

In samenspraak met de begeleiders in het afstudeerproject is Chretien vervolgens op zoek gegaan naar andere manieren van geluidsversterking. Door analogieën te zoeken met muziekinstrumenten kwam de schelpvorm naar voren. Bij verdere analyse van de mogelijkheden van deze vorm bleek niet alleen dat deze het geluid versterkte, maar ook de mogelijkheid bood om de praatpaal beter bruikbaar te maken voor personen van verschillende lengte.

De "nieuwe" praatpaal zou dus twee schelpen krijgen, waarbij het al snel duidelijk werd dat de vorm spoedig zou leiden tot andere associaties of bijnamen. De "bloembladeren" of "het konijntje" lagen voor de hand.
Als één van de begeleiders in het afstudeerproject speelde de beeldend kunstenaar Johan Jorna, lid van de vormstudiestaf, een grote rol. Hij benadrukte dat er, door het publieke karakter van het product, een zeer uitgebreide en zorgvuldige vormanalyse zou moeten plaatsvinden. Dat is dan ook gebeurd aan de hand van een veelheid aan schaalmodellen en modellen op ware grootte. Het is namelijk een serieus vormgevingsprobleem om twee karakteristieke schelpvormen te ontwikkelen, gebaseerd op akoestische proeven, en deze te laten aansluiten op een ronde paal.
Omdat de eerdere praatpaal door de "zware kop" niet veilig bleek bij botsproeven, werd besloten de twee schelpen in kunststof uit te voeren. Dit bood meteen ook een grotere vormvrijheid.
Een ander aspect waarover veel discussie plaatsvond, was de wijze van bedienen. Er moest in ieder geval een "knop" aanwezig zijn om een verbinding met de meldkamer van de hulpdiensten mogelijk te maken. Voor de hand liggend was natuurlijk om op de paal een handleiding aan te brengen, zoals we ook op palen in het buitenland zien. Een handleiding is echter in het donker niet zichtbaar, en zou ook nog eens in verschillende talen moeten worden aangebracht.
Uiteindelijk werd gekozen voor een duidelijke centraal geplaatste knop, zonder verdere aanduiding. De aanname dat de gebruiker deze manier van bedienen meteen zou begrijpen bleek terecht. Ook werd de "microfoon" vormgeven als beeld van een klassiek voorbeeld. De functie van: "hier praten" moest zo meteen duidelijk zijn.
Dat de nieuwe praatpaal, na lang overleg met alle betrokken partijen, ook daadwerkelijk werd uitgevoerd, was een groot succes voor de ontwerper.

Dit product is ook jarenlang de icoon van de faculteit geweest. Dat kwam vooral doordat het zogenaamde vier-pijlermodel, waar het onderwijs op gebaseerd was, zo mooi werd geïllustreerd. In de loop van de ontwikkeling had IO gedefinieerd dat een goed product een synthese diende te zijn van vier globaal omschreven aandachtsgebieden: techniek en vormgeving, de aandacht voor de mens en zijn mogelijkheden (de ergonomie) en de bedrijfskundige en marktgerichte aspecten van de productontwikkeling.
Dus: techniek, vorm, gebruiker en bedrijf en markt. Dit model is in de loop der jaren verfijnd en genuanceerd, maar het was en is een snelle manier om de aandachtsgebieden van Industrieel Ontwerpen te benoemen.

De praatpaal van Chretien Gerrits is ergonomisch goed doordacht. Bruikbaar voor mensen van verschillende lengte. Door de vormgeving van de knop en de microfoon is het meteen duidelijk hoe het product gebruikt moet worden. De vorm van de schelpen is onder andere gebaseerd op het geluidsversterkende effect.
De praatpaal is ontwikkeld met materialen die een zeer langdurig gebruik in een agressieve omgeving mogelijk maakt. Daarnaast is er door de materiaalkeuze ook een product ontstaan dat veilig is bij een mogelijk botsing.
De praatpaal was voor de diverse betrokken partijen een product dat de professionaliteit van het systeem onderstreepte.
En tot slot: de ontworpen praatpaal heeft een geheel eigen karakter. Maakt zijn functie door de vorm duidelijk, maar is daarnaast een uitstekend voorbeeld van Nederlands ontwerpen in de openbare ruimte. Helaas staat de paal op het punt te verdwijnen uit het landschap.

Figuur 1 | Praatpaal naar Philips ontwerp.
In gebruik in de periode 1970-1994.

Figuur 2 | Praatpaal naar Delfts ontwerp.
In gebruik in de periode 1994-2016.

Veelzijdigheid

Natuurlijk zijn er aanzienlijk meer projecten die de ontwikkeling van IO tonen. Wat daarbij opvalt is de enorme breedte van het terrein waar de Delftse industrieel ontwerper zich op beweegt. Zoals een beroemde Engelse ontwerper ooit zei: "Van lipstick tot jumbojet". Daarom nog een paar voorbeelden van projecten die tot het erfgoed van de faculteit gerekend kunnen worden.

Skihulp voor gehandicapten met geen of beperkte beenfunctie. Door dit product is het mogelijk met gewone ski's een "normale" ski-ervaring te beleven (figuur 3). *Ontwerper:* Maarten de Hartog.

Figuur 3 | Skihulp voor gehandicapten.

Ergonomische bediening van laparoscopische instrumenten. Onderzoek naar de meest comfortabele en zekere vorm voor handgrepen bij laparoscopische chirurgie (figuur 4). Promotieproject Martine van Veelen.

Figuur 4 | Handgreep voor laparoscopische chirurgie.

Outdoor Rolstoel. Prototype van rolstoel voor gebruik in ruw terrein, waardoor de actieradius voor het gehandicapte kind aanzienlijk toeneemt (figuur 5). *Ontwerper:* Eva Dijkhuis.

Figuur 5 | Outdoor rolstoel.

Scooter met voorwielaandrijving, aangedreven door fuel-cell (simulatie). Werkend model (figuur 6). *Ontwerper:* Crijn Bouman.

Figuur 6 | Scooter met voorwielaandrijving.

Onderzoek naar de mogelijkheid het *plukken van chrysantenstekken* te mechaniseren (figuur 7). *Ontwerper:* Ernst Goedvolk

Figuur 7 | Plukken van chrysantstekken.

Ontwerp voor een alternatief *cruiseschip voor stedentrips in Europa*. In samenwerking met Maritieme Techniek (figuur 8). *Ontwerper:* Sikko Valk.

Figuur 8 | Cruiseschip voor Europa.

Erfgoed

Aan de hand van deze lijst met voorbeelden mag het duidelijk zijn dat het erfgoed van IO, in de vorm van modellen en afbeeldingen, zeer divers is. Er zijn weinig objecten die de absolute synthese zijn van alle aspecten die bij het ontwerpen idealiter een rol spelen. Soms is de ergonomie dominant, soms is de techniek of de vormgeving dominant.
Vele boeiende afstudeerprojecten blijven, als echte "meesterstukken", een belangrijk onderdeel van de geschiedenis en dus het erfgoed van Industrieel Ontwerpen.

LUCHTVAART- EN RUIMTEVAART-TECHNIEK

Laserafstandsmeting naar satellieten: 'Delfts aardewerk' op de Veluwe

L. Aardoom en K.F. Wakker

Het daadwerkelijk begin van de ruimtevaart, najaar 1957, was bij universiteiten en hogescholen in binnen- en buitenland al spoedig aanleiding tot het ondernemen of intensiveren van gerelateerd wetenschappelijk onderzoek. Zo ook bij de TH Delft, onder meer door de Onderafdeling der Vliegtuigbouwkunde en de Onderafdeling der Geodesie. Betrof dit bij Vliegtuigbouwkunde de ruimtevoertuigen en draagraketten zelf met de technieken van hun lancering en de berekening van hun banen, Geodesie onderkende de mogelijkheden om satellieten te gebruiken als hulppunten bij plaatsbepaling op aarde of als proefmassa's in het zwaartekrachtveld.

Beide initiatieven werden opgenomen in het landelijke programma van het ruimte-onderzoek, dat gaandeweg vorm kreeg in de door de KNAW ingestelde Geofysica en Ruimteonderzoek Commissie (GROC). Het project van fotografische waarneming van satellieten dat door Geodesie werd ondernomen, vond aansluiting bij internationaal gecoördineerde en uitgevoerde meet- en analyseprogramma's en werd, als taak van de daartoe gevormde Werkgroep Satellietgeodesie (WSG), via GROC gesubsidieerd. Deze ondersteuning werd overgenomen in de omstreeks 1970 opkomende plannen om de fotografische waarnemingen te completeren met afstandsmetingen naar satellieten met behulp van een laser, zoals die sinds 1965 elders experimenteel werden verricht. Met deze ontwikkeling voor ogen werden de fotografische waarnemingen in 1973-1974 van Delft overgebracht naar het nieuwe Observatorium voor Satellietgeodesie (OSG), dat nabij Radio Kootwijk door de TH Delft werd ingericht. Daar kon de intussen in samenwerking met de Technisch Physische Dienst TNO-TH (TPD) ontwikkelde laserafstandsmeter in 1976 in gebruik worden genomen.

Bij de daarmee uitgevoerde waarnemingen was de expertise van de sectie Baanmechanica van Ruimtevoertuigen (SBR) bij Vliegtuigbouwkunde, intussen Luchtvaart- en Ruimtevaart-techniek, onmisbaar; een inzet die leidde tot een duurzame samenwerking bij de wetenschappelijke toepassing van de metingen in internationaal verband. De financiële ondersteuning die de WSG-bijdrage daarin via GROC genoot, werd in 1983 door de toen opgerichte NWO Stichting Ruimteonderzoek Nederland (SRON) voortgezet (sinds 2005: SRON Netherlands Institute for Space Research).

Satelliet-laserafstandsmeting

Laserafstandsmeting naar satellieten (Engels: Satellite Laser Ranging, *SLR*) bestaat in het meten van de looptijd, heen en terug, van lichtpulsen naar op satellieten gemonteerde optische hoekspiegels

(*retroreflectoren*). Bij de nominale lichtsnelheid van 300.000 km/s, komt een meetprecisie van 1 ns (10^{-9} s) daarbij in eerste benadering overeen met 15 cm als precisie in de afstand; sinds 1970 een streefwaarde om SLR tot de meest uitdagende methode van de satellietgeodesie te maken. In eerste benadering, want de voortplantingssnelheid van het licht hangt langs het doorlopen traject af van de plaatselijke samenstelling van de dampkring, als gevolg waarvan dit traject door refractie niet geheel recht is. Bovendien verplaatst de satelliet zich, zelfs in de korte tijd dat het licht onderweg is, ten opzichte van de SLR-apparatuur. Dit zijn factoren om bij de nauwgezette uitwerking van de metingen rekening mee te houden.

Bij het meten van de looptijdintervallen wordt gebruik gemaakt van een elektronische klok die - geijkt ten opzichte van de internationaal afgesproken tijdschaal - met een precisie die past bij de precisie van de afstandsmeting, ook de waarnemingstijdstippen aangeeft; onmisbaar om de metingen te kunnen koppelen aan elders ter wereld verrichte SLR- of andersoortige satellietwaarnemingen.

In tegenstelling tot radio-waarnemingstechnieken, zoals het latere GPS, werkt SLR alleen als de hemel in de betrokken richting onbewolkt is. En dan nog alleen bij duisternis, tenzij het systeem - gebruikmakend van het monochromatische karakter van laserlicht – op de mogelijkheid van daglichtwaarneming ontworpen is. In die variant was deze optie een onderscheidend kwaliteitskenmerk. Hoewel SLR, zelfs met die optie, door de omvang en het gewicht van de apparatuur minder gebruiksvriendelijk bleef dan radioapparatuur, won zij het op het gebied van nauwkeurigheid aanvankelijk ruimschoots van de radiotechnieken, waarbij de voortplantingssnelheid van de golven minder onder controle was dan die bij licht. Dankzij die nauwkeurigheidsverhogende eigenschap werd SLR bij uitstek de satellietgeodetische techniek ten behoeve van grootschalig geodynamisch onderzoek.

Metingen vanuit Kootwijk

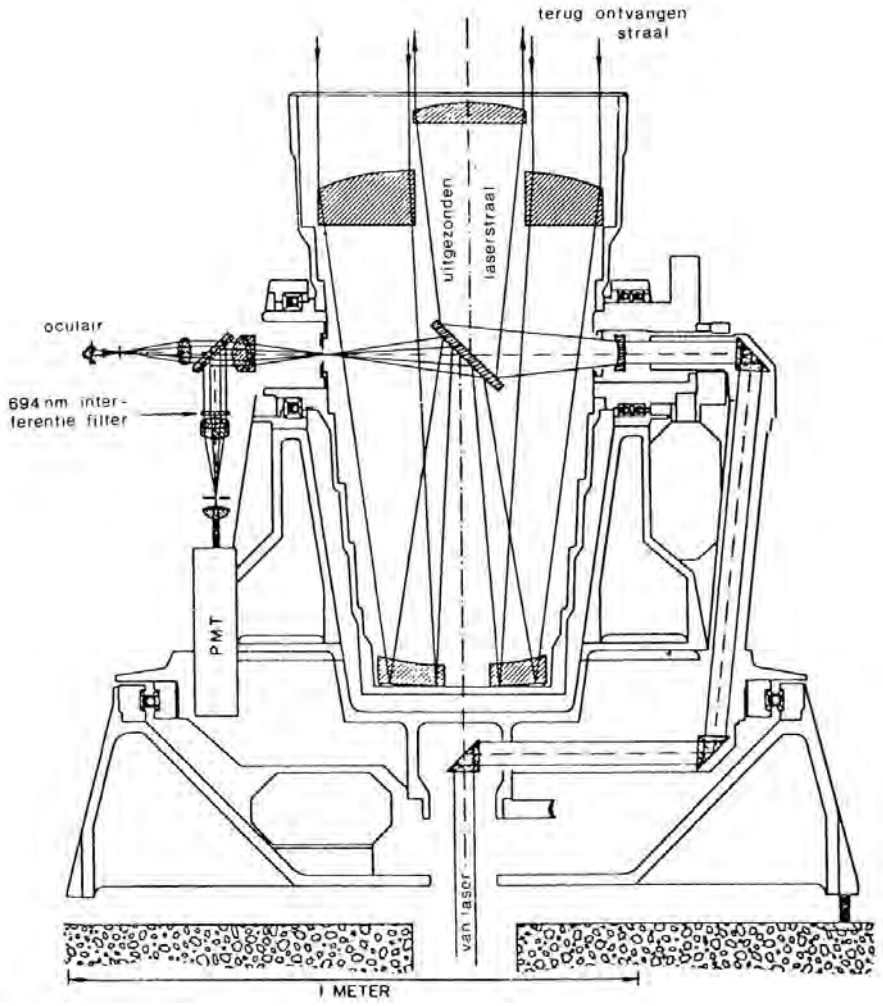
Het SLR-systeem dat eind 1975 door de TPD werd opgeleverd, was in nauwe samenwerking met de WSG ontworpen. Bij de gezamenlijke voorstudie werd kennis genomen van de ervaringen die elders met SLR waren opgedaan, in het bijzonder bij het Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO) in de Verenigde Staten, dat sinds 1965 op dit terrein pionierswerk had verricht en zijn expertise bereidwillig ter beschikking stelde.

Afgezien van de elektronische besturings-, bedienings- en randapparatuur bestond het systeem uit de *laser* en de *zend- en ontvangoptiek*. Het geheel werd op het OSG ondergebracht in de speciaal daartoe ontworpen waarnemingskoepel, waarin de zend- en ontvangoptiek – geïntegreerd in één compacte azimutaal opgestelde *telescoop* – op de bovenste verdieping werd geplaatst. De gebruikte *robijnlaser* (golflengte: 694 nm) bood, door tussenkomst van als optische schakelaars fungerende *Pockels cellen*, per minuut 15 ingekorte pulsen van 4 ns (120 cm lengte) en 3 J, waarvan een minuscule fractie als 'retoursignaal' moest worden gedetecteerd.

Figuur 1 | De laserafstandsmeter in de koepel van het OSG te Kootwijk. *(Foto TU Delft.)*

De zendoptiek bestond uit een refractor met een objectiefopening van 20 cm; volgens het *coudé-principe* werd de uitgaande bundel van de laser, via de horizontale (elevatie)as en een vlakke spiegel, opgestraald. Rekening houdend met de nauwkeurigheid waarmee de satellietpassage was voorspeld, was de diameter van de opgestraalde bundel instelbaar tussen 1 en 20 boogminuten. Het zendobjectief besloeg het centrale deel van de totale opening van de opstelling. De buitenste ring daarvan vormde het ontvangobjectief met een effectieve opening van 50 cm. Door gebruik te maken van een holle spiegel en de achterzijde van de genoemde zendspiegel werd een opgevouwen lens-spiegelsysteem gerealiseerd, waarbij de uittredende bundel (door de satelliet gereflecteerd laserlicht: de 'retourfractie') via de andere zijde van de elevatie-as naar de in de montering opgenomen detectie-eenheid werd geleid. De SLR telescoop meet horizontaal ongeveer 1,5 m en verticaal bijna 2 m. Vanwege deze omvang en het daarbij behorende gewicht kon de telescoop niet worden meegenomen in de verhuizing van de TU Delft Erfgoed Collectie, begin 2016. Doordat Museum Boerhaave te Leiden zich er over heeft willen ontfermen, kon dit voor de TU Delft zo belangrijke universitaire erfgoed toch voor Nederland bewaard blijven.

Met 1 ns (15 cm) precisie en daglicht-optie haalde het Kootwijkse instrument de eigentijdse specificaties voor een geavanceerd SLR-systeem en droeg het als zodanig jarenlang tastbaar bij tot het succes van wetenschappelijke meetcampagnes.



Figuur 2 | De laserafstandsmeter in de koepel van het OSG te Kootwijk. (*Foto TU Delft.*)

De baan van de satelliet

Om een laserafstandsmeting te kunnen uitvoeren, moet de laser op de, met het blote oog onzichtbare, satelliet kunnen worden gericht. Dat vereist een nauwkeurige baanberekening van de satelliet. Dit was een specialiteit van SBR. Voor dit doel werd gebruik gemaakt van het op analytische baanverstoringstheorieën gebaseerde *AIMLASER* programma, dat van SAO was verworven en door SBR in 1976 op de computer bij het TH Rekencentrum was geïnstalleerd. Op basis van een door NASA uit wereldwijd verkregen laserafstandsmetingen berekende baan werd met *AIMLASER* een extrapolatie van die baan berekend en werden voor de telescoop van de laser in Kootwijk reeksen

voorspellingen geproduceerd, waardoor de telescoop een overkomende satelliet met een precisie van beter dan 20 boogseconden kon volgen.

De metingen werden verricht in het kader van inter- of multinationaal gecoördineerde aardwetenschappelijke programma's, die tot doel hadden de kennis van de dynamiek van de vaste aarde (geodynamica) en de zeespiegel (oceanografie) te vergroten. Daartoe waren in 1976 diverse met retroreflectoren toegeruste satellieten beschikbaar, zoals de Franse *STARLETTE* en de Amerikaanse *LAGEOS* en *GEOS-3*. Voor oceanografisch gebruik was laatstgenoemde voorzien van een radarhoogtemeter; de compacte, bolvormig uitgevoerde *STARLETTE* en *LAGEOS* waren, rondom bezet met reflectoren, uitsluitend bedoeld voor nauwkeurige baan- en plaatsbepaling. Het was primair die tweezijdige doelstelling, die de WSG en SBR aanspoorde tot bundeling van expertise; in te zetten ter ondersteuning van de voor 1978 geplande Amerikaanse *SEASAT* radar-hoogtemeet missie. De WSG-SBR samen-werking was ook een gedegen fundament voor deelname in de wetenschappelijke analyse van de *LAGEOS*-waarnemingen, waarvoor NASA in 1978 een internationale uitnodiging uit-stuurde.

Die deelname opende voor de TH Delft de deur tot het verkrijgen van het in opdracht van NASA ontwikkelde, geavanceerde programmapakket *GEODYN*, dat gebaseerd was op een numerieke integratie van de satellietbaan en waarbij alle bekende stoorkrachten in rekening werden gebracht. In 1979 bij het Rekencentrum geïnstalleerd, bood dit de mogelijkheid de OSG-waarnemingen met andere waarnemingen in de NASA database te vergelijken en te analyseren ter verkrijging van precieze coördinaten van wereldwijde SLR-stations, van hun onderlinge afstanden en van een aantal parameters in de voor de baanberekening gebruikte modellen. Eventueel te constateren veranderingen van zulke afstanden met de tijd waren componenten van de snelheden waarmee die stations zich ten opzichte van elkaar verplaatsten. Ze waren te beschouwen als indicatoren voor eigentijdse bewegingen van aardschollen en maakten verificatie en aanscherping van de voornamelijk op seismische en aardmagnetische gegevens gefundeerde theorie van de wereldwijde platentektoniek mogelijk. Met dat voor ogen, nam NASA in 1980 het *LAGEOS*-project op in een breder Crustal Dynamics Project (CDP), waarop de samenwerkende Delftse groepen ook intekenden. Beweging van aardschollen impliceert de beweging van/in geodetische referentiestelsels. Reden om ook dat aspect bij het onderzoek te betrekken en voor WSG-SBR om impliciet deel te nemen aan een in internationaal verband opgezet project ter vergelijking van de diverse technieken voor de nauwkeurige bepaling van de aardrotatie. *GEODYN* bood ook gelegenheid om ter beschikking staande SLR metingen, in combinatie met radarhoogtemetingen, te analyseren ten behoeve van onderzoek naar grootschalige oceaan-stromingen.

Vervolg en spin-off

Het succes van SLR, in het bijzonder bij het meten van aardkorstdeformaties, noopte tot een geografisch meer doelmatige inzet van de techniek door incidentele verdichting van het netwerk van permanente SLR-stations, zoals het OSG te Kootwijk. Dit leidde tot het concept van transportabele SLR-apparatuur; een ontwikkeling die WSG, met steun van GROC/SRON, kon volgen door deelname

in het ontwerp en de bouw van een dergelijk instrument door de TPD. Voor het resulterende *Modular Transportable Laser Ranging System* (MTLRS) werd tevens een afnemer gevonden in Duitsland. Vanaf 1985-'86 werden het Nederlandse en het Duitse systeem met succes ingezet als Europese bijdrage aan het Crustal Dynamics Project. Ter verdichting van het SLR-netwerk werden daarbij ook de handzamere radiotechnieken (lees: GPS) betrokken, die gaandeweg - zelfs over grotere afstanden - de rol van SLR over-namen.

Deelname aan het CDP was een primair programmapunt van de WSG-SBR samenwerking die, met de thema's aardkorstdeformatie, aardrotatie en zeehoogtevariatie, als *Delfts aard-gericht ruimteonderzoek* meer structuur kreeg. De kennis en ervaring die in dit verband met NASA-projecten werd opgedaan, bood SBR gelegenheid uit te groeien tot de *Section Astrodynamics & Space Missions* van de TU Delft, die aan vrijwel alle latere geodetische, oceanografische en zwaartekracht satellietmissies van NASA, ESA en het Franse CNES zou deelnemen.

Het LR Lage-Snelheids-Windtunnel-Laboratorium

J.L. van Ingen en L.L.M. Veldhuis

Wat is een windtunnel?

Tot het TU-erfgoed moet zeker worden gerekend het Lage Snelheids Windtunnel Laboratorium (LSL) van de faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek (LR). In 1953 was dit het eerste nieuwe TH-laboratorium dat werd gebouwd in de Wippolder.

Lang voor het vliegen met toestellen zwaarder dan lucht "van de grond kwam" werden primitieve windtunnels gebruikt om stromingsproblemen te onderzoeken.
Simpel gezegd is een windtunnel een buis waarin d.m.v. een ventilator een luchtstroom wordt opgewekt. In die luchtstroom wordt dan (een schaalmodel van) het te onderzoeken object opgesteld. De stroming om het model kan dan, met passende technieken, in detail worden onderzocht en ook kunnen de krachten en momenten op het model worden gemeten.

Windtunnels worden niet alleen toegepast voor het onderzoek aan vliegtuigen maar ook aan gebouwen, bruggen, auto's, schaatsers, wielrenners, etc.

Historie

Toen de gebroeders Wright aan het eind van de 19^{e} eeuw begonnen met hun pogingen een vliegtuig te bouwen, hebben zij zich bij de Smithsonian Institution terdege op de hoogte gesteld van de door hun voorgangers verzamelde wetenschappelijke data. Toen bleek dat die niet nauwkeurig genoeg waren, hebben zij zelf een kleine windtunnel gebouwd en daarin een groot aantal vleugelmodellen doorgemeten. Hun succes is voor een groot deel te danken aan dit grondige onderzoek.

Niet algemeen bekend is dat Gustav Eiffel al in 1907 proeven deed met modellen die hij langs een kabel vanaf de tweede verdieping van zijn toren naar beneden liet glijden Tijdens die "val" werden dan metingen uitgevoerd. Later heeft hij ook windtunnelmetingen gedaan in zijn laboratorium nabij Parijs.

Ontwikkelingen in Nederland

In Nederland ontstond al vroeg in de 20e eeuw belangstelling voor de technische kant van de luchtvaart. De Nederlandse Vereniging voor Luchtvaart besteedde in het begin veel aandacht aan de techniek door een "Commissie voor Technische Zaken" in het leven te roepen Deze commissie bracht in 1910 een bescheiden laboratorium tot stand dat werd overgedragen aan de TH Delft en werd ondergebracht in het gebouw van Toegepaste Natuurkunde en Electrotechniek. De student A.G. von Baumhauer was één van de eerste gebruikers van het laboratorium. Later zou hij een belangrijke medewerker worden van de RSL.

De civiele techniek liep echter vóór op de luchtvaart door de oprichting van het Waterloopkundig Laboratorium in Delft, dat onder leiding stond van prof. J.Th. Thijsse. Hoewel formeel geen onderdeel uitmakend van de TH, was dit nieuwe instituut daar toch sterk mee verbonden.

Inmiddels werd door civiele en militaire autoriteiten ook de behoefte gevoeld aan een dergelijk instituut voor de opkomende luchtvaart. Het zou voor de hand hebben gelegen dit dan ook in Delft nabij de TH te vestigen. Het lijkt echter zo te zijn dat de Afdeling Werktuigbouwkunde hier destijds niet voor voelde omdat naar verluid "luchtvaart iets was voor amateurs en rijke fantasten". Het instituut met de naam "Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart" (RSL) is in 1919 opgericht en in Amsterdam gevestigd. Het huidige Nationaal Lucht- en Ruimtevaart Laboratorium (NLR) is hiervan de voortzetting. De RSL heeft natuurlijk in de loop der jaren een reeks van innovatieve windtunnels in gebruik genomen [2,4].

Aandacht voor de luchtvaart bij werktuigbouwkunde

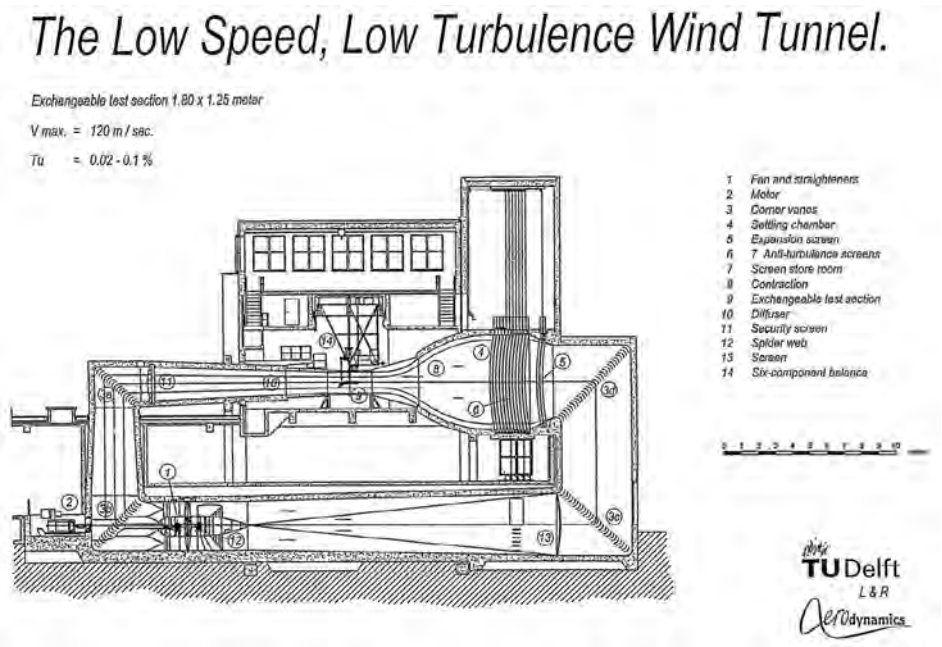
Inmiddels was bij de TH door de hoogleraren Biezeno (vanaf 1914) en Burgers (vanaf 1918) een begin gemaakt met de meer fundamentele behandeling van respectievelijk de mechanica van de vaste stof en de aero- en hydrodynamica. Beiden zagen blijkbaar wél het belang van de wetenschappelijke ontwikkeling van de luchtvaart. Zij hebben in belangrijke mate bijgedragen tot het voorzien van de RSL met ingenieurs en gepromoveerden, zie ook [6].

In het laboratorium van Burgers is een aantal kleine windtunnels ontwikkeld. Eén daarvan is later bij de in 1940 ingestelde opleiding voor vliegtuigbouwkunde terecht gekomen en daar in het begin gebruikt voor practica. De experimentele activiteiten waren vooral gericht op de fundamentele aspecten (o.a. ontwikkeling van de gloeidraadmeettechniek). Toch werd ook aandacht besteed aan industriële aspecten, bijv. de ventilatie van de Maastunnel.

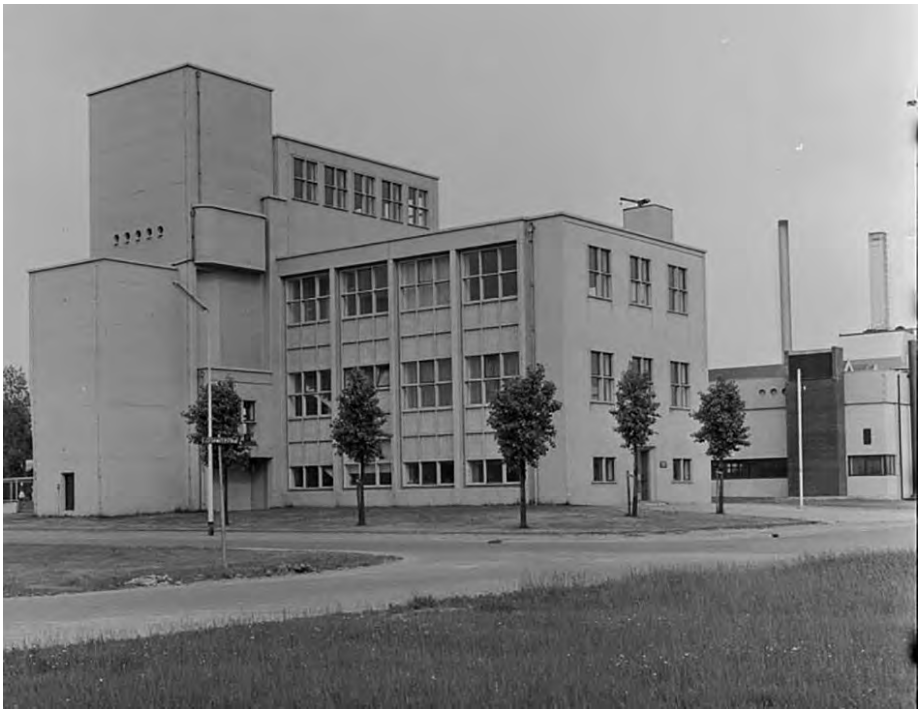
Vliegtuigbouwkunde bij de TH Delft

Hoewel door de hoogleraren Biezeno en Burgers belangrijke bijdragen werden geleverd aan onderwijs en onderzoek op het gebied van de luchtvaart, ontstond toch in de loop van de jaren '30 behoefte aan een aparte opleiding voor vliegtuigbouwkunde. Hierin werd voorzien door de benoeming, op 6 mei 1940, van H.J. van der Maas als eerste hoogleraar op dit vakgebied. Hij was opgeleid als scheepsbouwkundig ingenieur en na zijn indiensttreding bij de RSL in 1923, belast met vliegproeven waarvoor hij de militaire vliegeropleiding op Soesterberg had gevolgd. Later is hij op dit vakgebied gepromoveerd bij Burgers. Geleidelijk nam daarna de "VTH" (Vliegtuigbouwkunde TH) in omvang en betekenis toe [5,7]. Vooral na afloop van de Tweede Wereldoorlog nam Van der Maas de ontwikkeling van de opleiding voortvarend ter hand. Hij heeft zich sterk ingespannen voor de ontwikkeling van experimentele faciliteiten. Zo werd het Lage Snelheids Windtunnel Laboratorium (LSL) in 1953 het eerste gebouw in de nieuwe TH-wijk in de Wippolder. Het uitgangspunt hierbij was dat deze faciliteiten geheel gewijd zouden zijn aan onderwijs en onderzoek. Het onderzoek t.b.v. de industrie zou voorbehouden blijven aan de RSL (later NLL en NLR).

Om het windtunnelonderzoek aan modellen voldoende representatief te laten zijn voor het vliegtuig op ware grootte is een minimale combinatie van afmetingen en bereikbare windsnelheid vereist. Daarvoor moesten de afmetingen groter zijn dan van de bij Burgers beschikbare tunnels. Tevens moet de stroming homogeen zijn met een lage "turbulentiegraad". Op basis hiervan werd de zgn. Lage Snelheids Windtunnel (LST) ontwikkeld [3] die thans nog steeds in gebruik is bij de faculteit LR (figuur 1, 2). Het ontwerp van de tunnel is in nauwe samenwerking met het NLR ontstaan.



Figuur 1 | De Lage Snelheids Windtunnel van de TU Delft – functionele opbouw.



Figuur 2 | Het Lage Snelheids Windtunnel Laboratorium in aanbouw [10].

Gebruikt voor onderwijs en onderzoek

Omdat het LSL zowel voor onderzoek als onderwijs beschikbaar moest zijn, werd de windtunnel voorzien van een aantal verwisselbare meetplaatsen, z.g. "inzetstukken." Dit toen revolutionaire systeem maakte het mogelijk snel (binnen 15 minuten) van opstelling te wisselen, bijvoorbeeld voor studentenpractica in de middag en onderzoek door staf en afstudeerders in de avond- en ochtenduren. Hierdoor is het mogelijk gebleken een toenemend aantal studenten op te vangen. Voorts werd de tunnel voorzien van een krachtenmeetsysteem en een multi-manometer met 200 buizen voor het meten van drukken.

De legendarische docent

De ontwikkeling van het LSL is sterk beïnvloed door het meesterlijke experimenteertalent van professor Eise Dobbinga. Vele honderden LR-ingenieurs bewaren de beste herinneringen aan hem en zijn onnavolgbare colleges. Aan hem is ook te danken dat het LSL gouden roem vergaarde met de bekende Nagano strips van de Nederlandse schaatsers in 1998. Dobbinga voorspelde reeds in 1987 dat toepassing van de strips zou leiden tot een tijdwinst van 5 seconden op de 5000 meter.

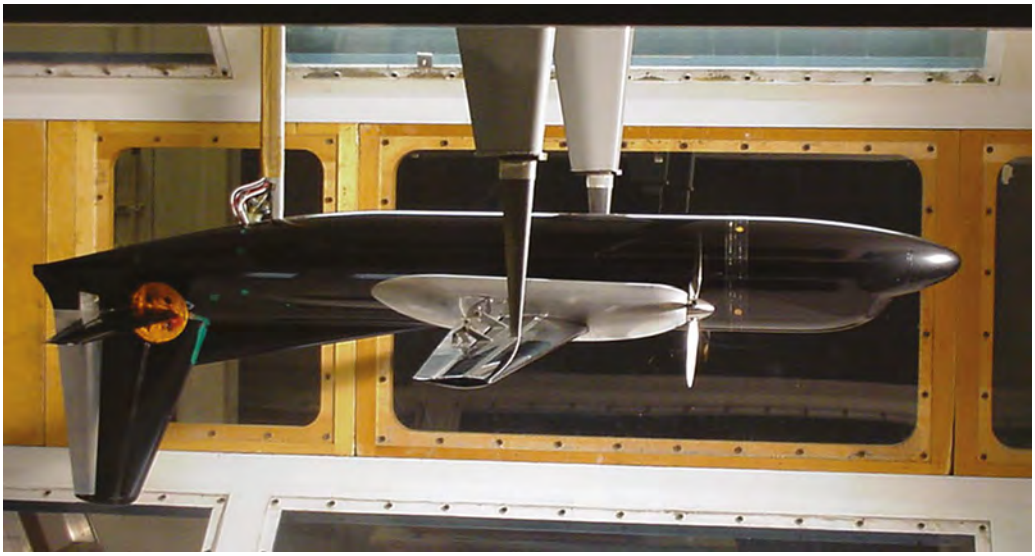
Practica en onderzoek aan complete vliegtuigmodellen

Om meteen te kunnen beginnen met practica met modellen van complete vliegtuigen werd aanvankelijk gebruik gemaakt van modellen die van het NLR werden verkregen (Fokker T-5, G-1). Als voorbeeld toont figuur 3 een inzetstuk van de windtunnel waarin een model van de Fokker jachtbommenwerper T-5 wordt opgehangen [9]. In latere jaren werd het Fokker T-5 model vervangen door modellen van de Fokker F-24 en de DHC-2 Beaver en nog later door een model van de succesvolle Fokker F-27 “Friendship” (figuur 4). Dit model was voorzien van twee door kleine, maar krachtige elektromotoren (elk 3,9 kW) aangedreven propellers. Hierdoor werd het mogelijk de studenten ook vertrouwd te maken met de belangrijke invloed van de propellerslipstroom op het stabiliteitsgedrag van het vliegtuig. Dit model bood ook mogelijkheden voor meer fundamenteel onderzoek. LR heeft incidenteel ook metingen voor Fokker gedaan t.b.v. van een verdere ontwikkeling van de Fokker F-50.

Figuur 3 | Schaalmodel van de Fokker T-5 in een inzetstuk van de Lage Snelheids Windtunnel [9].

Het onderzoek aan vliegtuigconfiguraties werd in belangrijke mate verruimd door de ontwikkeling van het z.g. "Variabele-Geometrie-Model" (VGM) waarmee verschillende configuraties kunnen worden gesimuleerd.

Om de luchtvaart "groener" te maken zal steeds meer onderzoek naar geheel nieuwe vliegtuigconfiguraties nodig zijn. Het "VGM" zal hierbij een belangrijke rol kunnen spelen. Zo wordt momenteel onderzocht hoe alternatieve ontwerpen voor de integratie van het voorstuwingsysteem in het vliegtuig kunnen leiden tot een significante verlaging van het brandstofverbruik. Omdat deze radicaal nieuwe configuraties een complex stromingsbeeld kennen, waarbij vleugels, staartvlakken en voorstuwingssysteem een sterke interactie ondervinden, wordt de Lage Snelheids Windtunnel, LST, opnieuw ingezet bij internationale, door de EU gesubsidieerde, onderzoeksprojecten. Het gaat hierbij dan met name om de analyse van het stromingsgedrag rondom onderdelen van het vliegtuig. Deze analyse zal later gebruikt worden voor de voorbereiding van grootschalige experimenten in commerciële windtunnels en vliegproeven aan demonstratiemodellen. Een voorbeeld van een bijdrage aan een lijn van onconventionele, zuinige vliegtuigen is een innovatief ontwerp van LR waarbij propellervoortstuwing een belangrijke component is [1].



Figuur 4 | Schaalmodel van de Fokker F-27, opgehangen in een inzetstuk van de Lage Snelheids Windtunnel.

Fundamenteel onderzoek aan grenslaagstromingen in relatie tot het ontwerpen van vleugelprofielen

Naast het onderzoek aan complete vliegtuigmodellen heeft het LSL ook belangrijk onderzoek gedaan aan "grenslaagstromingen" en de invloed daarvan op de vormgeving van vooral de vleugel. Vanwege de beschikbare afmeting van de tunnel en de bereikbare windsnelheid was het mogelijk het "oefenterrein" van zweefvliegtuigen op ware grootte te betreden. Hierbij is de wisselwerking tussen fundamenteel en toegepast onderzoek bijzonder vruchtbaar gebleken. In latere jaren heeft het onderzoek aan zweefvliegtuigvleugels een natuurlijke voortzetting gekregen in experimenteel en theoretisch onderzoek aan windturbinebladen. In de windtunnel wordt op dit moment veel contractonderzoek gedaan voor fabrikanten van windturbines.

Toekomstperspectief

De windtunnelmeettechniek heeft zich in de ruim honderd jaar sinds de gebroeders Wright tot een spectaculaire hoogte ontwikkeld. Het LSL van de TU Delft heeft zich in de afgelopen 60 jaar een goede internationale reputatie bij vakgenoten verworven door een aantal baanbrekende onderzoekingen.
In tegenstelling tot de vaak door niet-deskundigen geuite gedachte dat tegenwoordig toch alles wel door de computer berekend kan worden, zijn windtunnels nog steeds nodig omdat, ondanks de geweldige ontwikkeling van rekenmethoden en toegenomen rekenkracht van computers , nog steeds de stroming om complete vliegtuigen niet voldoende nauwkeurig kan worden berekend door deze CFD ("Computational Fluid Dynamics").

Het LSL is daarom niet alleen maar als erfgoedobject van belang. In de toekomst zal het wind-tunnel-laboratorium nog veel goede diensten kunnen bewijzen.

Kortom: een ERFGOED met TOEKOMST.

Het vluchtsimulatie-erfgoed van de TU Delft

J.A. Mulder

Inleiding

Met de benoeming in 1940 van de eerste hoogleraar in de vliegtuigbouwkunde in Nederland, prof. dr. ir. H.J. van der Maas en de oprichting van de nieuwe Onderafdeling der Vliegtuigbouwkunde in 1953 begon in Delft de opleiding tot vliegtuigbouwkundig ingenieur. Vanaf het eerste begin was het duidelijk dat de opleiding een combinatie moest zijn van theorie en praktijk. Dat wil zeggen dat de theorie door studenten moest kunnen worden getoetst middels experimenten in het laboratorium. Daarvoor werden experimentele faciliteiten ontwikkeld die natuurlijk ook voor het onderzoek onontbeerlijk waren. Voorbeelden hiervan zijn de windtunnels en de laboratoriumvliegtuigen, die gerekend mogen tot het technisch-wetenschappelijke erfgoed van de Technische Universiteit Delft. Een recent voorbeeld is de SIMONA vluchtsimulator.

Van vliegeigenschappen naar vluchtsimulatie

In het begin van de jaren zestig voorzag de jonge lector ir. Otto H. Gerlach, ingenieur-vlieger, al de grote rol van vluchtsimulatie in de luchtvaart. Hij was de eerste in Nederland die met de ontwikkeling van een vluchtsimulator begon. Bestond de eerste uit niet meer dan een rudimentaire cockpit waarvan de instrumenten werden aangestuurd met een analoge computer, al snel volgde een cockpit van de North American B-25 Mitchell met een projectie van landingsbaanlichten op een vast gemonteerd scherm. Hiermee konden nachtlandingen worden nagebootst.

De volgende stap zou de toevoeging zijn van een bewegingssysteem. Op een vliegtuig werken aerodynamische krachten en momenten die samen met de zwaartekracht de baan en de stand van het vliegtuig in de lucht bepalen. De vlieger wordt die aerodynamische krachten en momenten gewaar door de lineaire en hoekversnellingen en de rotatiesnelheden die er het gevolg van zijn. Het is zelfs zo dat het stuurgedrag van de vlieger door die bewegingen beïnvloed wordt! Dan is dus duidelijk dat deze zogenaamde 'motion cues' niet gemist kunnen worden! Toen de tijd rijp was voor een bewegingssysteem was dat toevalligerwijs het moment waarop de lector dr.ir. Taco J. Viersma van de Afdeling der Werktuigbouwkunde met Otto Gerlach contact zocht over mogelijke toepassingen van zijn ideeën op het gebied van elektro-hydraulische servomotoren. Zijn nieuwste concept was dat van de zogenaamde 'hydrostatische lagering' waarbij hydraulische olie stroomde door een conisch vormgegeven, zeer nauwe spleet tussen zuiger en zuigerwand. Het resultaat was dat Coulombwrijving

tot bijna nul werd gereduceerd, en daarmee ook de zogenaamde 'reversal bump'. Dit zou simulatie van motion cues veel natuurgetrouwer kunnen maken dan ooit mogelijk was geweest! Men besloot een bewegingssysteem te bouwen met drie graden van bewegingsvrijheid (3-DOF) voor de langshelling, de rolhoek en de verticale versnelling, die de belangrijkste motion cues werden gedacht te zijn. Op dit nieuwe bewegingssysteem werd de cockpit van een Fokker F-27 gemonteerd (figuur 1). De drijvende kracht achter de technische verwezenlijking van deze zeer vooruitstrevende vluchtsimulator was ir. Max Baarspul [1].

Figuur 1 | Vluchtsimulator met Fokker F-27 cockpit en hydrostatisch gelagerde servomotoren voor het 3-DOF bewegingssysteem (1969).

Figuur 2 | NLR F-16 vluchtsimulator.

Tot de grens van het mogelijke

De ontwikkelingen binnen de toen al faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek waren binnen het NLR niet onopgemerkt gebleven. Men was daar begonnen aan een plan voor de bouw van een F-16-simulator ten behoeve van onderzoek en ontwikkeling. Essentieel zou zijn de mogelijkheid motion cues te generen. Men besloot de simulator te voorzien van een 6-DOF bewegingssysteem, een zogenaamd 'Stewart platform' bestaande uit een 'hexapod' van zes actuatoren gemonteerd in de vorm van drie driehoeken. Vanwege hun inmiddels bewezen excellente eigenschappen zouden daarin nu

servomotoren worden gebruikt met hydrostatische lagering. Figuur 2 toont het resultaat met de door Hydraudyne in Boxtel gebouwde servomotoren die een extreem grote slag hadden van niet minder dan 1,6 meter. Op het bewegingssysteem werd de speciaal gebouwde F-16 cockpit in MLU (Mid Live Update) uitvoering geplaatst met daaromheen het bolvormige zichtsysteem waarop van binnenuit een 360 graden beeld kon worden geprojecteerd. De simulator werd voorzien van softwarebijgedragen door Lockheed Martin. Op het NLR speelde Otto Gerlach's vroegere student ir. Wim G. Vermeulen een belangrijke rol bij de totstandkoming van deze indrukwekkende simulator.

In de jaren tachtig van de vorige eeuw waren vluchtsimulatoren gemeengoed bij de luchtvaartmaatschappijen. Deze simulatoren waren uitgerust met een Stewartplatform met daarbovenop een cabine waarin zich de cockpit met het 'instructor station' bevonden, aangevuld met de spiegels van een zichtsysteem. Het werd in de beginjaren negentig wel duidelijk dat om een rol te kunnen blijven spelen in het wetenschappelijk onderzoek naar simulatietechnologie de 'F-27-simulator' ook uitgerust zou moeten worden met een 6-DOF bewegingssysteem. Bovendien waren inmiddels 'collimated visual display systems' beschikbaar waarin door toepassing van een parabolische spiegel met een blikveld van 180 graden het buitenbeeld kon worden gereproduceerd op dezelfde 'oneindige' afstand als in de werkelijke vlucht. Letterlijk voortbouwen op de bestaande F-27-simulator bleek technisch niet haalbaar zodat werd besloten een geheel nieuw ontwerp te maken. Dit luidde het begin in van het SIMONA (**SI**mulation, **MO**tion and **NA**vigation) project, mogelijk gemaakt door een startsubsidie van het Internationale Faciliteiten Fonds (IFF) van het Ministerie van O,C&W. Het project werd opgezet als een samenwerkingsverband tussen de drie faculteiten LR (Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek), 3ME (Werktuigbouwkunde) en EWI (Elektrotechniek). Bij het ontwerp werden ambitieuze doelen gesteld zoals een bewegingssysteem dat qua mechanisch-dynamische prestaties zou behoren tot de absolute wereldtop. Bij het formuleren en verwezenlijken van die ambities speelde ir. Piet Teerhuis (Werktuigbouwkunde) een grote rol. Hij had eerder onder leiding van de inmiddels hoogleraar geworden Taco Viersma gewerkt aan de ontwikkeling van het F-27 3-DOF bewegingssysteem en had al van hem het stokje overgenomen. Zijn idee was dat de ideale motion cues zo perfect mogelijk door het bewegingssysteem moesten kunnen worden verwezenlijkt. Dat resulteerde in een simulatorontwerp met minimale massa en traagheidsmomenten, lage ligging van het zwaartepunt en zes krachtige servomotoren met uiteraard hydrostatische lagering. Het computer geoptimaliseerde ontwerp bleek een eivormige, met ribben verstijfde schaal te zijn, opgebouwd uit met koolstofvezels versterkte composieten met ruimte voor de cockpit (figuur 3, voorgrond). Voor een zo laag mogelijk zwaartepunt moesten de aluminium scharnierblokken tussen de schaal en de servomotoren zo hoog mogelijk worden bevestigd, maar wel zo dat de schaal ook in de meest extreme standen vrij zou blijven van de servomotoren. De bolvormige buitenschaal met daarin de parabolische spiegel van het zichtsysteem werd middels met koolstofvezels versterkte composietstaven verbonden aan de eivormige kern (figuur 3, achtergrond). De technisch uitdagende fabricage van de nieuwe elektro-hydraulische servomotoren naar het ontwerp van Piet Teerhuis, de constructie van het stalen grondplatform met de scharnieren voor de servomotoren, de uiterst nauwkeurige bevestiging van de aluminium scharnierblokken aan de kunststof binnenschaal en de samenbouw van het bewegingssysteem voor de eerste testen werden uitgevoerd door de toenmalige Centrale Werkplaats van de Technische Universiteit Delft. Hier moge

ook worden gememoreerd dat ing. Henk Lindenburg (LR) vanaf het begin een cruciale rol speelde bij de technische verwezenlijking van de SIMONA vluchtsimulator.

Figuur 3 | Op de voorgrond: model van het skelet van de eivormige kern van de SIMONA vluchtsimulator. Op de achtergrond: de operationele, lichtgewicht SIMONA Research Simulator.

Vanwege de laagst mogelijke ligging van het zwaartepunt hebben horizontale langs- en dwars translatieversnellingen de kleinst mogelijke (parasitaire, en dus ongewenste) momenten om de dwars- en langsas tot gevolg. Door nu bovendien voor de besturing van het bewegingssysteem gebruik

te maken van een nauwkeurig (dus niet-lineair) mathematische model van het bewegingssysteem kunnen die toch al kleine parasitaire bewegingen haast perfect worden geëlimineerd door gebruik te maken van besturingsconcepten onder de naam van 'Nonlinear Dynamic Inversion', of van de meest recente adaptieve versies daarvan onder de naam van 'Incremental Nonlinear Dynamic Inversion' (INDI) [2]. Naast de verticale ligging van het zwaartepunt is er ook een aanmerkelijk verschil in massa vergeleken met die van hedendaagse commerciële vluchtsimulatoren. Is die voor de SIMONA vluchtsimulator ongeveer 4500 kg, de massa van commerciële simulatoren is tenminste twee tot drie maal zo groot. Het gevolg is dat de bereikbare lineaire en hoekversnellingen van deze simulatoren navenant kleiner zijn waardoor de gegenereerde motion cues kunnen afwijken van wat ze idealiter zouden moeten zijn. Dit kan significante afbreuk doen aan de natuurgetrouwheid van de simulatie juist in die gevallen waarin die essentieel is zoals bij het uitvoeren van een nadering op instrumenten of direct na een motorstoring tijdens de start.

SIMONA laboratorium

De bedoeling van de startsubsidie van het IFF was een onderzoeksfaciliteit te creëren met ongekende kwaliteiten en daarom aantrekkelijk voor buitenlandse onderzoekers. Daarbij paste een door Jan Pesman van het Delftse architecten bureau CEPEZED ontworpen nieuw laboratorium. De SIMONA vluchtsimulator staat hoog op de eerste verdieping, permanent zichtbaar voor voorbijgangers en biedt wanneer in beweging een fascinerende aanblik achter de glazen gevel van het laboratorium aan de Delftse Anthony Fokkerweg.

Conclusie

De excellente eigenschappen van de hydrostatisch gelagerde krachtige servomotoren, het unieke constructieve ontwerp met zijn zeer kleine massa en de geavanceerde besturing van het bewegingssysteem brengen de SIMONA-vluchtsimulator voor wat betreft bewegingssimulatie tot aan de grens van wat technisch haalbaar is. De simulator inspireerde tot de ontwikkeling van vele van buiten onzichtbare innovaties zoals de 'DUECA' software omgeving ('middleware') ontwikkeld door dr.ir. René van Paassen (LR) waarmee een schier onbeperkt aantal computer- en hardware systemen kunnen worden gekoppeld voor real-timesimulaties [3]. Het is daarmee een unieke faciliteit geworden voor toegepast en fundamenteel onderzoek op het gebied van vluchtsimulatie, motion cue simulatie, vliegeigenschappen, geavanceerde besturingsconcepten, menselijk stuurgedrag en menselijke visuele- en vestibulaire waarneming. De SIMONA-vluchtsimulator is het resultaat van onderwijs en onderzoek door generaties van studenten en promovendi en de daarbij betrokken stafleden en mag daarom met recht hun erfgoed genoemd worden! Evenzeer is de simulator 'interfacultair erfgoed' vanwege de vruchtbare samenwerking van de drie eerder genoemde faculteiten. Maar bovenal behoort de SIMONA-vluchtsimulator tot het Erfgoed van de Technische Universiteit Delft zelf, en, dagelijks in bedrijf zijnde, is hij zelfs een prachtig voorbeeld van: LEVEND ERFGOED.

TECHNISCHE NATUUR-WETENSCHAPPEN (TNW)

The collection of the Delft School of Microbiology

L.A. Robertson

Microbiology is the study of all microorganisms, including bacteria, yeasts, algae, protozoa and fungi. With the exception of fungi, the existence of all of these microorganisms was discovered in Delft by Antoni van Leeuwenhoek, a 17th century linen merchant and surveyor who made his own simple microscopes in his spare time. After his death in 1723, it was not until the arrival of M.W. Beijerinck to open the first industrial laboratory at J.C. van Marken's "Nederlandsche Gist en Spiritus Fabriek" (eventually Gist brocades, now part of DSM) that the study of microbiology returned to Delft. .

The name "Delft School of Microbiology" was first used by Cornelius B. van Niel of the Hopkins Marine Station in California to describe the systematic approach to the study of microbiology pioneered in Delft by Professor M.W. Beijerinck and his successors. This approach (very simply defined as "what is happening, which organism is doing it, how is it doing it and can we influence it?") laid the foundations of modern microbiology and microbiologists all over the world still claim to be members today.

The Archive of the Delft School of Microbiology, also known as the "Kamer van Beijerinck", contains many interesting and beautiful things which, when combined with other things in the collection, present a snapshot of the biological research and education being done in Delft at the end of the 19th and first half of the 20th centuries.

The beginning

In 1895, **Martinus W. Beijerinck** became the first Professor of Microbiology at what was then the Delft Polytechnical School ("Polytechnische School"). His work made the laboratory world-famous because he discovered quite few groups of important microorganisms including different sorts of bacteria, yeasts and algae. He is also credited with being the first to show that viruses exist, although he died before the electron microscope was invented, allowing them to be seen.

His successor, **Albert J. Kluyver**, changed the direction of the research a little as he investigated the ways in which microorganisms could be used, a process known today as biotechnology. Processes such as wastewater treatment, antibiotic production and fermentation all fall under this heading. His group studied not only what microorganisms could do, but also how they did it and how they could be influenced. He worked closely with Gist brocades on a number of processes including the World War 2 production of penicillin.

One of Beijerinck's students (and later Kluyver's teacher) was **Gerrit van Iterson jr**, Professor of Applied Botany. His work concentrated mostly on plants and their uses. He also introduced mathematical analysis to botany (a form of research now called biomathematics). With Beijerinck's support, he founded the Delft Botanic Garden, and was a member of the committee that formed TNO. The mathematical work described in his Doctor's thesis was so important that people still refer to it now, 100 years later.

In 1958, the Laboratory of Microbiology moved from the lab used by Beijerinck and Kluyver to a new building attached to Van Iterson's Laboratory at Julianalaan 67. All three of these Professors are regarded as founding fathers of modern biotechnological science and so, when new Professors took over, their papers and other materials were preserved. The collections were eventually merged to form the current Delft School of Microbiology Archive and Museum. The various research groups also eventually merged to form the Department of Biotechnology.

In 2016, when the Department of Biotechnology moved to a new building, the Archive and Museum moved to its current home in the Delft Science Centre.

The Collection

The most important part of the collection is paper – laboratory notebooks, lecture notes and letters between the Professors and other scientists all over the world. We also have a lot of equipment including microscopes and other laboratory and educational tools. A lot of the material is linked, giving a complete picture of a piece of research from the first discovery to the final conclusions and publication. This is important not only because it helps us to understand how the minds of these famous Professors worked, but also in education.

Together, figures 1 and 2 show how different parts of the collection support each other. Figure 1 is one of the many watercolours drawn and painted by Henriëtte Beijerinck, sister of the Professor, as wall charts to illustrate his lectures in the days before magic lanterns, slide projectors and eventually Power Point. As well as Henriëtte's work, the collection includes many other original watercolours by people employed in Van Iterson's department as well as commercially-printed series.

Figure 1 shows Henrëtte Beijerinck's drawing of Serradelle. Like other members of the pea family, this plant has root nodules (bottom right).People originally thought that these were galls (a sort of plant cancer caused by insects).

After spending a lot of time looking for the insects, Beijerinck was the first to show that the nodules are actually full of bacteria that can take nitrogen out of the air and turn it into fertiliser (popularly known as "green fertiliser"). Figure 2 shows the different stages of recording this discovery, from the root nodules through Prof Beijerinck's drawing from his laboratory notebook, Henriëtte's more detailed drawing of the bacteria made for a wall chart and a photograph of the bacteria made from the

original 19th century glass negative. We also have Prof Beijerinck's notes about the experiments, his publications about the work and the wooden blocks used to make the pictures in those publications.

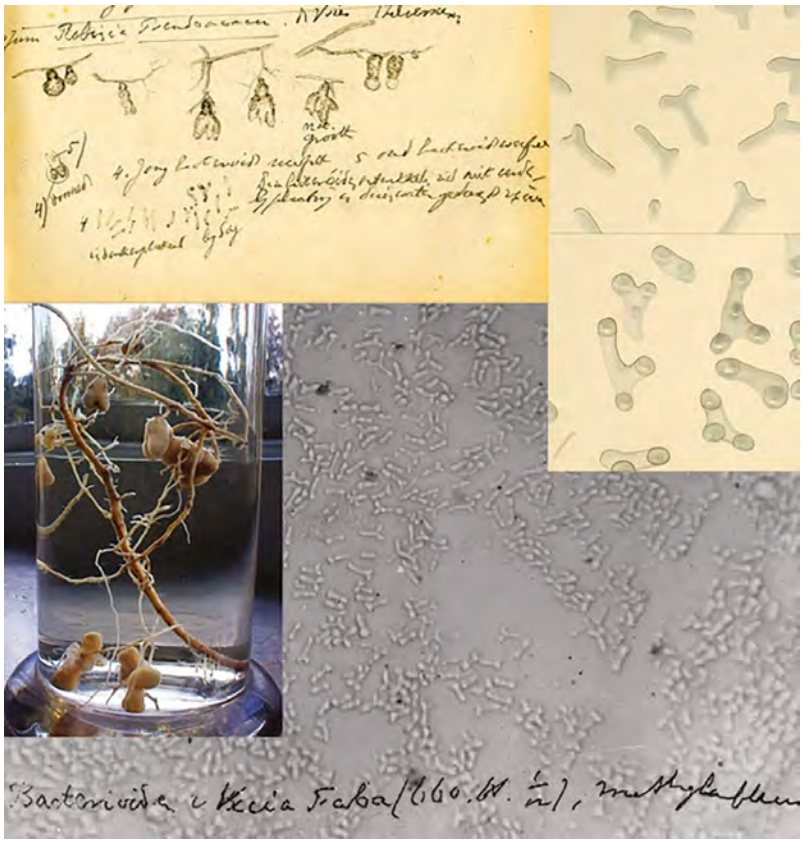
Figuur 1 | Henriëtte Beijerinck's 1898 drawing of Serradelle (also known as *Ornithopus sativus*).

Relevance

This account presents one example of how different parts of the collection support the value of other parts. There are many others - for example, we can show how people did microbiology research before the use of electricity became common and how people recorded what they saw with microscopes before suitable cameras became available. Both of these were useful when we were visited by people from a country where their laboratory only had a few hours of electricity each day. We were able to show them alternative methods to let their research continue and make the best use of their time.

Scientific progress is always built on the research of those who came before us, and knowing how our predecessors thought and approached their research is still useful today. People come to visit from all over the world, sometimes to search for information and at other times just to enjoy the historical equipment and the notes made by their scientific heroes. Images from the wall chart and glass negative collections have been used for all sorts of publications from book covers to student handbooks. Items have been lent for national and international exhibitions.

Most of all, the collection reminds us that science is not just useful, it's fun!



Figuur 2 | The root nodules (preserved in alcohol, left), Beijerinck's drawing of the root nodules and the bacteria from his laboratory notebook (top left), then Henriëtte's more detailed drawing of the bacteria (right), made from the photograph at the bottom. Understanding how the "green fertiliser" works allows us, even today, to improve the way we use it and reduce the amount of artificial chemicals we use in gardens and fields.

De Max-Planck medaille

H.G. Heijmans

Inleiding

De Max-Planck-Medaille is een onderscheiding die sinds 1929 jaarlijks wordt uitgereikt door de toentertijd grootste vereniging van natuurkundigen ter wereld: de Deutsche Physikalische Gesellschaft. Het is als het ware de Nobelprijs voor de theoretische natuurkunde, volgens de natuurkundigen zelf. In 1962 werd deze prestigieuze prijs toegekend aan de Delftse hoogleraar in de theoretische natuurkunde, tevens Rector Magnificus van de TH Delft: Ralph Kronig (1904-1995). De medaille is, samen met een klein persoonlijk archief, in 2016 door de familie geschonken aan de TU Delft.

In 1962 ontving Ralph Kronig de Max-Planck-Medaille van de Deutsche Physikalische Gesellschaft als erkenning voor zijn vroegere werk aan de quantummechanica. Toen Kronig in 1939, op 35 jarige leeftijd, hoogleraar werd in Delft had hij al een grote reputatie in de theoretische fysica.

Deze reputatie had hij opgebouwd in één van de meer bijzondere periodes uit de geschiedenis van de natuurkunde. Een periode waarin de meest veelbelovende jonge natuurkundigen zich schaarden rond charismatische leiders als Niels Bohr in Kopenhagen, Paul Ehrenfest in Leiden, Wolfgang Pauli in Zürich, Arnold Sommerfeld in Aken. Een periode waarin vele laboratoria in de wereld zich bezighielden met het in kaart brengen van de structuren van de atomaire en moleculaire spectra, en theoretici als Einstein, Bohr, Schrödinger, Sommerfeld en Heisenberg probeerden de geheimen te ontrafelen die daarachter schuilgingen. Het was een periode waarin creatieve jongelingen zich soms opstelden tegenover de gevestigde orde, maar waar de jongelingen zich soms ook weer traditioneler toonden dan het establishment. Het was een spannende tijd waar menig student van nu graag bij zou zijn geweest! Een tijd waarin innovatie geen politieke of economische slogan was, maar realiteit. Waarin academische vrijheid nog mogelijk was en er tijd was om, liggend in het gras, te filosoferen over de toekomst, en statistisch onderzoek te doen naar de linksom, of rechtsom draaiende kauwbewegingen van koeienkaken! Een periode van zeer veel Nobelprijswinnaars! Ralph Kronig maakte deel uit van dit bonte gezelschap van pioniers in de quantummechanica.

Kronig heeft in deze boeiende periode meerdere belangrijke bijdragen geleverd aan de theoretische fysica. Zijn naam is onder meer verbonden gebleven aan de Kramers-Kronigrelaties die het verband vastleggen tussen de brekingsindex en de absorptiecoëfficiënt van spectra van metalen. Maar er is één bijdrage die toch wel in het bijzonder de aandacht trekt. Op 20-jarige leeftijd introduceert Kronig het idee van de “elektronspin” dat één van de fundamentele doorbraken zou worden in de uitleg van de atomaire spectra en de opbouw van atomen.

Figuur 1 | De Max Planck medaille van Ralph Kronig.

Figuur 2 | Overhandiging van de Max-Planck-Medaille door Karl Ruthardt (links) op 24 september 1962 te Stuttgart [5].

Januari 1925

Op 7 januari 1925 brengt Kronig een bezoek aan de Universiteit van Tübingen waar de experimentator Alfred Landé zich bezighoudt met het onderzoek naar moleculaire spectra in een magnetisch veld (Zeeman effect). Bij zijn aankomst meldde Landé hem dat hij geen beter moment had kunnen kiezen, want Wolfgang Pauli werd de volgende dag ook in Tübingen verwacht. Pauli had juist een nieuw schema van quantumgetallen opgesteld waarmee de posities van de spectraallijnen in een magnetisch veld konden worden verklaard. Hij voerde daarbij een nieuw quantumgetal in dat slechts twee waarden kon aannemen, waarbij twee elektronen in dezelfde baan niet dezelfde waarde voor dit quantumgetal konden hebben (Pauli's uitsluitingsprincipe). De fysische oorzaak daarvan was niet duidelijk, maar dat was ook niet wat Pauli interesseerde. De systematische mathematische beschrijving was wat hem betreft voorlopig voldoende. Landé laat Kronig het manuscript zien waarin Pauli zijn ideeën uiteenzet.

Die avond maakt Kronig een wandeling door de velden rond Tübingen en denkt hij na over Pauli's voorstel. Op zoek naar een fysische verklaring voor het extra quantumgetal, komt hij op de gedachte dat het elektron, dat rondjes draait om de kern van het atoom, ook om zijn eigen as draait. Dat kan maar op twee manieren: linksom, of rechtsom. Het zou vanwege de elektrische lading van het elektron een eigen magnetisch moment hebben waarvan de component in de richting van het extern aangelegde

magnetisch veld de fysische betekenis van het quantumgetal zou kunnen zijn. Kronig deelt diezelfde avond zijn gedachten nog met Landé die reageert met de woorden: '*Das müssen wir Pauli vorlegen*'.

Pauli arriveert inderdaad de volgende dag en Kronig legt hem zijn hypothese van de draaiing van het elektron en het eigen magnetisch moment voor. Maar Pauli reageert met de woorden: *'dass es ja ganz witzig sei aber mit der Wirklichkeit natürlich nichts zu tun habe'*. De exacte woorden van Pauli worden in de diverse herinneringen verschillend aangehaald, maar de boodschap is duidelijk: Pauli gelooft er niet in, en de pas twintigjarige Kronig acht het verstandig om het er dan verder ook maar niet over te hebben. Kort na zijn bezoek aan Tübbingen reist hij af naar Kopenhagen waar hij onder meer Bohr en Kramers ontmoet. Hij bespreekt daar ook zijn idee van de elektronspin. Het komt echter niet over en Kronig besluit het idee dus niet te publiceren.

Figuur 3 | Herfst 1924, Leiden. Van links naar rechts: Gerard Dieke, Samuel Goudsmit, Jan Tinbergen, Paul Ehrenfest, Ralph Kronig, en Enrico Fermi [6].

Maart 1926

Groot is de verbazing van Kronig als enkele maanden later hetzelfde idee vanuit Leiden door Samuel Goudsmit en George Uhlenbeck wordt gepubliceerd in het toonaangevende tijdschrift Nature. Goudsmit en Uhlenbeck hadden het idee van een rondtollend elektron voorgesteld aan de Leidse hoogleraar Paul Ehrenfest en in tegenstelling tot de kritische reactie van Pauli, raadde Ehrenfest

aan om het idee te publiceren. Dat leidde tot een ingezonden brief aan "Naturwissenschaften" in november 1925, waarin het idee van de elektronspin voor het eerst openbaar gemaakt werd. Ehrenfest voegde daar een opmerking aan toe waarbij hij zei dat Wander Johannes de Haas in Leiden hem enkele maanden eerder al apparatuur had getoond voor een experiment dat de rotatie van het elektron betrof, maar dat Goudsmit en Uhlenbeck onafhankelijk daarvan op dit idee waren gekomen. Enkele maanden later, in februari 1926, publiceren Goudsmit en Uhlenbeck het baanbrekende artikel in "Nature".

Kort na deze publicatie, op 6 maart, stuurt Kronig een brief aan Kramers waarin hij aangeeft dat hij niet begrijpt waarom het idee van het magnetisch moment van het elektron nu ineens de ondersteuning krijgt van de theoretisch fysici. '*Everything in their letter to Nature including the possibility of obtaining a relativistic formula going with the fourth power of Z occurred to me already when I was in Tübingen January 1925 and I first explained the whole thing to Landé and Pauli who happened to be there.*'

Na zijn bezoek aan Tübingen was hij, zoals boven al is aangehaald, in Kopenhagen waar hij een lezing gaf over het Zeeman-effect. Daar sprak hij met Kramers over de wisselwerking tussen het magnetisch moment van het tollende elektron en het magnetisch moment als gevolg van de draaiing van het elektron rond de atoomkern. Daarmee was Kronig op het idee gekomen van een koppeling tussen de spinbeweging en de baanbeweging, wat een verklaring gaf van de zogenaamde fijnstructuur van spectra in een magnetisch veld.

Het gebrek aan enthousiasme voor zijn idee in Tübingen en Kopenhagen had hem ervan weerhouden om te publiceren, maar nu concludeert hij: '*In future I shall trust my own judgment more and that of others less*'.

Bohr bevestigt in een brief van 26 maart 1926 wat Kronig in Kopenhagen heeft verteld, maar hij meldt tevens daarbij dat de importantie toen nauwelijks tot hem en Kramers doorgedrongen was. Bohr begreep toen niet hoe dit magnetisch moment invloed kon hebben op de beweging van het elektron en dus op het spectrum. Pas nadat Bohr met Einstein gesproken had in Leiden werd het duidelijk voor Bohr dat de spin-baan koppeling te maken had met de relativiteitstheorie.

Bohr vervolgt met de opmerking dat het hem vrijwel onmogelijk was gebleken om Pauli en Heisenberg ervan te overtuigen. Nu het belang van de elektronspin voor Bohr goed duidelijk is geworden, vindt hij het des te erger dat hij nooit geweten heeft dat Kronig dit al eerder, inclusief de relativistische uitleg, had voorgesteld.

Bohr herinnert zich dat hij, terugkerend vanuit Leiden, in Göttingen had gesproken met Heisenberg – die eerder in Leiden een voordracht had gegeven over die spin-baan koppeling. Heisenberg meldde toen dat hij dat idee van iemand anders had gehoord, maar hij wist niet meer van wie. Heisenberg en Kronig hadden elkaar toen al meerdere malen ontmoet. Eerst eind januari in Kopenhagen waar Kronig volgens zijn eigen zeggen intensieve gesprekken voerde met Heisenberg. En vervolgens op een

gezamenlijke boottocht van Gjedser naar Warnemünde in de vroege lente van 1925. '*Now I even suspect that it is from yourself that the understanding of the mutual coupling between spin and orbital motion has come to the notice of the physicists.*' aldus Bohr.

Een Nobelprijs?

Dit alles roept de vraag op of Goudsmit en Uhlenbeck niet op de een of andere manier ook al van dit idee van Kronig gehoord hadden, voordat zij het als eersten publiceerden. Dit lijkt echter niet erg waarschijnlijk. Bovendien was Kronig ook niet de eerste die het idee van een draaiend elektron voorstelde. De Amerikaan A.H. Compton had die suggestie in 1921 ook al gedaan, maar hij had dit verder niet in het juiste verband weten te brengen met de spectra. Het lijkt erop dat het idee van de elektronspin niet tot een Nobelprijs heeft geleid, omdat de originaliteit van het idee niet met zekerheid kon worden vastgesteld.

In de kringen van natuurkundigen werd al snel bekend dat Kronig zich hierover als eerste had uitgelaten tegenover Pauli. Er deed zelfs een rijmpje de ronde: "*Der Kronig hatt' den Spin entdeckt, hatt' Pauli ihn nicht abgeschreckt*". Pauli zelf verwijst er in 1930 ook naar in een aanbevelingsbrief aan de natuurkundige Dirk Coster in Groningen, waarin hij schrijft dat Kronig "der Entdeckung des Spinelektrons sehr nahe gekommen ist". Daarbij mogen we ons afvragen hoe nabij men moet komen om erkenning te krijgen. In 1964, twee jaar nadat aan Kronig de Max Planck medaille was toegekend, viel deze eer ook te beurt aan Goudsmit en Uhlenbeck.

Deze wellicht tragi-komische geschiedenis van de "ontdekking" van de elektronspin gaat uiteindelijk niet over de quantummechanica, maar over stimulerend leiderschap van docenten en zelfbewustzijn van studenten!

De Philips EM300 Elektronenmicroscoop

P. Kruit

De werking van de EM300

Een elektronenmicroscoop is een apparaat waarin met behulp van een elektronenbundel een klein voorwerp vergroot kan worden afgebeeld. Zoals een lichtbundel gefocusseerd kan worden door lenzen van glas, kan een elektronenbundel gefocusseerd worden door elektrostatische of magnetische velden. Elektronen worden uit een materiaal in het vacuüm gebracht door een gloeidraadje zo warm te maken dat de elektronen "er uit koken", of een zodanig sterk elektrisch veld op een scherpe naald te zetten dat de elektronen uit het materiaal "getrokken" worden. Door deze elektronenbron op een negatieve hoogspanning ten opzichte van aarde te zetten, versnellen de elektronen tot bijna de snelheid van het licht en vormen een bundel. Een magneetlens bestaat in essentie uit een grote spoel koperdraad en een magneet-ijzercircuit, dat het magneetveld op de as van de microscoop concentreert. De vergrote afbeelding van een preparaat wordt op een fluorescentiescherm zichtbaar gemaakt. Al in 1878 was aangetoond dat het scheidend vermogen van een microscoop wordt bepaald door de golflengte van de gebruikte straling. Rond 1920-1925 ontstond het inzicht dat elektronen zich ook als golven kunnen gedragen. Aangezien de golflengte van elektronen aanzienlijk korter is dan die van licht, kunnen in een elektronenmicroscoop veel kleinere details zichtbaar gemaakt worden dan in een lichtmicroscoop.

De toepassingen van de EM300

De kennis die wij hebben van de structuur van cellen en bacteriën is voornamelijk afkomstig van elektronenmicroscopiestudies. Pas in de laatste paar decennia lukt het om met lichtmicroscopen sub-cellulaire details waar te nemen. In de materiaalkunde is het begrip van de microscopische oorzaken van sterkte en stijfheid gebaseerd op structuurinzichten verkregen met de elektronenmicroscoop. Controle van productieprocessen is vaak alleen mogelijk door gebruik van de elektronenmicroscoop. De miniaturisering van de transistortechnologie was niet mogelijk geweest zonder elektronenmicroscopische controle van het fabricageproces.

Wat er aan de EM300 voorafging

De eerste transmissie-elektronenmicroscoop met magnetische lenzen werd in 1931 gebouwd door Ernst Ruska (de latere Nobelprijs winnaar) en Max Knoll aan de Technische Hochschule Berlin. Bij het Philips Natuurkundig Laboratorium werd in 1935 een emissiemicroscoop ontworpen. De Delftse hoogleraar natuurkunde Dorgelo was er snel bij: hij had al in 1932, samen met Casimir van het Philips Natlab, een bezoek gebracht aan Ruska en in juli 1939, samen met Waller van de Delftse Gist

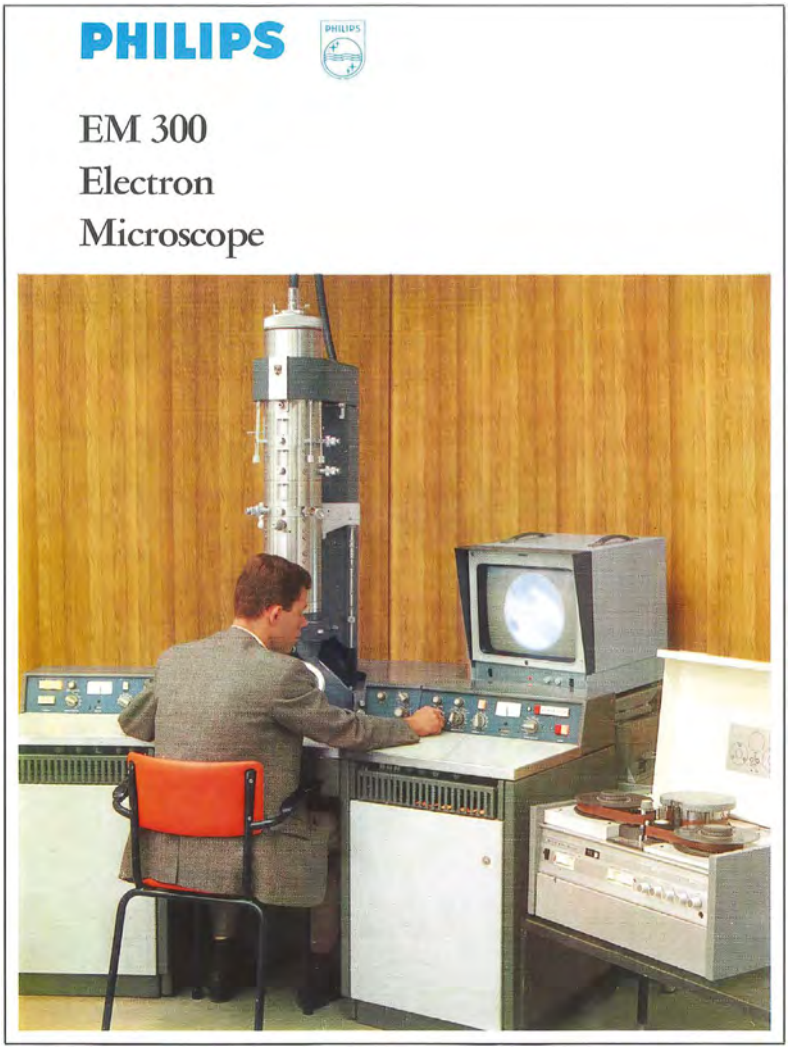
en Spiritus Fabriek en prof. Kluyver van het Laboratorium voor Microbiologie van de TH Delft, een bezoek aan Siemens, om de eerste commerciële transmissie-elektronenmicroscoop te bekijken. De Technische Hogeschool Delft kon zich deze echter niet veroorloven.

Toen de student technische natuurkunde Jan Bart Le Poole in 1939 aan prof. Dorgelo vroeg of hij als afstudeerproject een transmissie-elektronenmicroscoop (TEM) mocht ontwerpen en bouwen, kreeg hij dan ook onmiddellijk toestemming. Een symposium in februari 1940, georganiseerd door de Stichting Biofysica, was een grote stimulans voor het werk: prof. Kronig sprak over de analogie tussen licht- en elektronenoptica, prof. Dorgelo sprak over elektronenlenzen, Helmut Ruska, een broer van Ernst Ruska, sprak over de Siemens microscoop en prof. W.G. Burgers sprak over toepassingen in de metaalkunde!

Door de invasie van de Duitsers in mei 1940 en het begin van de Tweede Wereldoorlog werd het onderzoek in Nederland ernstig bemoeilijkt. Toch slaagde Le Poole erin zijn eerste foto van een preparaat in de elektronenmicroscoop te ontwikkelen op 8 april 1941. Deze microscoop staat nu in het Boerhave museum in Leiden. De TH Delft heropende haar deuren voor studenten in mei 1941 en Le Poole behaalde zijn ingenieursgraad op 26 juli 1941.

De Delftse Gist en Spiritus Fabriek had een direct belang bij het verbeteren van de elektronenmicroscoop voor het bekijken van gistcellen: een van de centrale vragen was of de gistcel ook een celkern had. Een dergelijke vraag kunnen wij ons tegenwoordig nauwelijks meer voorstellen, maar het wijst op het enorme belang van de elektronenmicroscoop voor de biologie. In 1942 begon Le Poole bij de Technisch Physische Dienst (TPD) TNO-TH Delft aan een project voor de bouw van een 150 kV TEM. A.C. van Dorsten bij het Philips Natlab ontwierp de vereiste hoogspanningsvoeding. Financiële ondersteuning werd gegeven door het Delfts Universiteitsfonds en een aantal Nederlandse bedrijven. Door de onmogelijkheid van internationale contacten in oorlogstijd was Le Poole geheel aangewezen op zijn eigen inventiviteit. Na de oorlog werd het publiek uitgenodigd om met eigen ogen te kunnen zien met welke inventiviteit men aan de TH Delft aan het werk was geweest. Vele beroemdheden kwamen demonstraties bijwonen, waaronder koningin Juliana en prins Bernhard en verschillende (latere) Nobelprijswinnaars.

Al tijdens de oorlog had Le Poole aan de N.V. Philips gesuggereerd dat zijn TEM wel eens commercieel interessant zou kunnen zijn. De reactie was een snelle inschatting van hoeveel microscopen er in Nederland of zelfs heel Europa verkocht zouden kunnen worden: misschien een stuk of tien, en dus niet interessant voor Philips. Maar nu bleek dat ook in een internationale vergelijking het ontwerp van Le Poole er bijzonder goed uitkwam, probeerde Le Poole het opnieuw. Nu, na interventies van Van Dorsten en van de directeur van Staatsmijnen prof. F.K.Th. van Iterson bij Anton Philips persoonlijk, was hij wel succesvol. In 1947 kwam het prototype al gereed. Tot 1967 heeft Philips de EM100 verkocht, in totaal bijna 400 stuks. Toen kwam bovengenoemde EM300 op de markt.



Figuur 1 | Philips brochure voor de EM 300 elektronenmicroscoop.

Delftse bijdragen aan de EM300

Vanaf de oprichting van Philips Electron Optics was Le Poole, inmiddels hoogleraar Elektronen Optica aan de TU Delft, adviseur. Het is dan ook niet verwonderlijk dat twee belangrijke uitvindingen van Le Poole hun weg vonden naar de EM300. De eerste is de "wobbler", reeds beschreven in zijn proefschrift in 1954: een combinatie van elektronenbundel afbuigers die het mogelijk maakt om de bundel snel afwisselend onder twee verschillende hoeken door het preparaat te sturen. Als de afbeelding niet in-focus is, ziet de gebruiker een dubbel beeld. Precies focusseren werd hierdoor kinderspel. De tweede is een mogelijkheid om diffractiepatronen van een beperkt gebied op het preparaat te maken.

Hoewel achteraf bleek dat dit in 1936 al een keer was aangetoond, zat deze optie nog in geen enkele commerciële microscoop. De diffractietechniek maakte het mogelijk de structuur te bepalen van microkristallen, zeer wezenlijk voor de metaalkunde.

Ontwikkelingen sinds de EM300

De resolutie van moderne transmissie-elektronenmicroscopen is intussen verbeterd tot 0,5 Å en daarmee werd de mijlpaal van atomaire resolutie gepasseerd. Individuele atomen zijn waarneembaar geworden, en met behulp van energiespectroscopie op de transmissiebundel kan zelfs bepaald worden welk individueel atoom men ziet. In Delft is er afwisselend aandacht geweest voor elektronenlithografie en dan ook weer microscopie waarbij de banden met de erfopvolgers van Philips Electron Optics nog steeds bestaan. Philips Electron Optics groeide uit tot een van 's werelds drie grootste fabrikanten van elektronenmicroscopen. Het staat nu onder de naam FEI genoteerd op de Nasdaq en op het moment van schrijven (2016) is sprake van doorverkoop aan Thermo Fischer.

Figuur 2 | Opengewerkte elektronenmicroscoop.

Het erfstuk in Delft

In Delft beschikten wij over twee EM300 microscopen. Toen de transistoren het één voor één opgaven, werden ze aan de kant gezet en transformeerden als vanzelf tot erfstuk door ze niet weg te gooien. Van één kolom is een sector van 90° verwijderd om te kunnen tonen wat een prachtige techniek dit nu 50 jaar oude apparaat bevat.

De S200 koelmachine van Quantum Transport

- van elektronen per stuk tot Majorana deeltjes

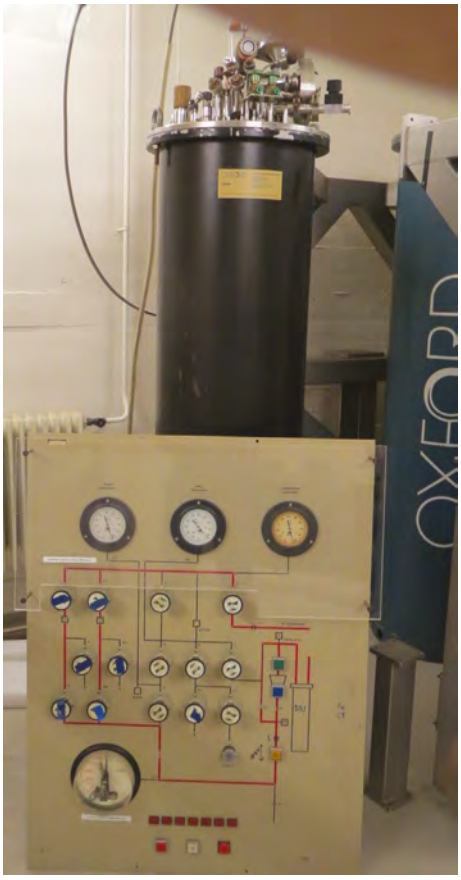
J.E. Mooij

Achtergrond

Nieuwe techniek opent kansen voor nieuwe wetenschap. Technieken om kleine transistoren voor halfgeleiderchips te maken kunnen ook worden gebruikt om nanostructuren te fabriceren die zich gedragen als quantumdeeltjes. Onze groep op Technische Natuurkunde begon rond 1985 die mogelijkheid te exploreren. In de buurgroep Deeltjesoptica had men een elektronenmicroscoop omgebouwd om kleine patronen te schrijven in een gevoelige laag. Een eerste commerciële elektronen-lithografiemachine van Philips werd in Delft geplaatst om ervaring op te doen. Wij maakten met behulp daarvan nanostructuren in dunne metaalfilms met afmetingen rond 25 nm (nanometer). Kleine metalen eilandjes werden aangesloten via dunne tunnelbarrières, met als gevolg dat het tunnelen van een enkel elektron kon worden beheerst. Metaalfilms op halfgeleiders werden gebruikt om een doorgang te creëren die net zo smal was als de quantumgolflengte van de elektronen. Geheel nieuwe effecten kwamen tevoorschijn en konden worden onderzocht.

Bij die nieuwe effecten hoorden karakteristieke energiewaarden; bij afmetingen van 25 nm lagen die rond 0,5 K (kelvin). Om zulke temperaturen te bereiken heeft men vloeibaar helium nodig. De groep gebruikte de gewone isotoop ^{4}He om tot 1 K te komen en de dure isotoop ^{3}He voor 0,3 K. Dat was net voldoende om te laten zien dat nieuwe effecten begonnen op te treden. In universitaire lage-temperatuurlaboratoria zoals in Leiden waren zogenaamde verdunnings-koelmachines ontwikkeld met mengsels van de twee isotopen. Oxford Instruments bracht een 'mengkoeler' op de markt die bedoeld was als gebruiksapparaat, niet als onderzoeksdoel. Onze groep vroeg bij FOM (tweede geldstroom natuurkunde) een investeringssubsidie aan. De aanvraag werd gehonoreerd, de S200 mengkoeler werd besteld. Na een korte leerperiode werkte hij voortreffelijk en in de volgende decennia draaide hij vrijwel continu. Een indrukwekkende reeks nieuwe resultaten was het resultaat.

In 2016 staan op het lab wel twintig nieuwe mengkoelers, de S200 is ontmanteld. Voor alle studenten, promovendi, postdocs, stafleden en gasten die er mee gewerkt hebben en voor de buitenwereld die de verkregen resultaten bewonderde, verdient hij postuum een voetstuk.



Figuur 1 | S200 mengkoeler in 2016. De cylindrische cryostaat (zwart) is een vacuümruimte die de cryogene elementen (stikstofvat, heliumvat, mengkoeler-unit) bevat, opgehangen aan de bovenflens. De vacuümmantel kon door een gat in de vloer zakken, zodat samples gemonteerd konden worden. De cryostaat hing in een zwaar, afgeveerd rek. Daarnaast stond een rek met aan de voorkant het bedieningspaneel (hier op de grond) en daarachter leidingen, kleppen, en pompen. Het verdampte, gewone helium werd afgevoerd naar de liquefactor om opnieuw vloeibaar te worden gemaakt.

Het apparaat

De S200 was een ^{3}He-^{4}He verdunningskoelmachine (ook mengkoeler genoemd). Het koelproces daarin is continu, ^{3}He wordt in een gesloten circuit rondgepompt. Koelwerking wordt verkregen in de zogenaamde mengkamer, waar het ^{3}He oplost in ^{4}He. Voor dat oplossen is warmte nodig, die aan de omgeving wordt onttrokken. De verdunde vloeistof gaat naar een ander vat op ongeveer 0,6 K, waar het ^{3}He door stoken wordt verdampt. Dat ^{3}He gas wordt via een pomp op kamertemperatuur gevoerd naar een condensatievat op 1K vanwaar het als vloeistof terug gaat naar de mengkamer. De te onderzoeken nanostructuren worden gemonteerd onder de mengkamer. Het instellen van drukken,

vloeistofniveaus en stookvermogen is een subtiel proces. Toen de S200 in Delft voor het eerst werd gestart duurde het een dag of vijf voor de juiste parameters waren gevonden. Daarna volgde elk gebruikersteam een vast recept. Een meetserie duurde vele weken. Tijdens de meetserie moesten baden met vloeibaar ^{4}He en vloeibare stikstof voor de thermische afscherming dagelijks worden bijgevuld.

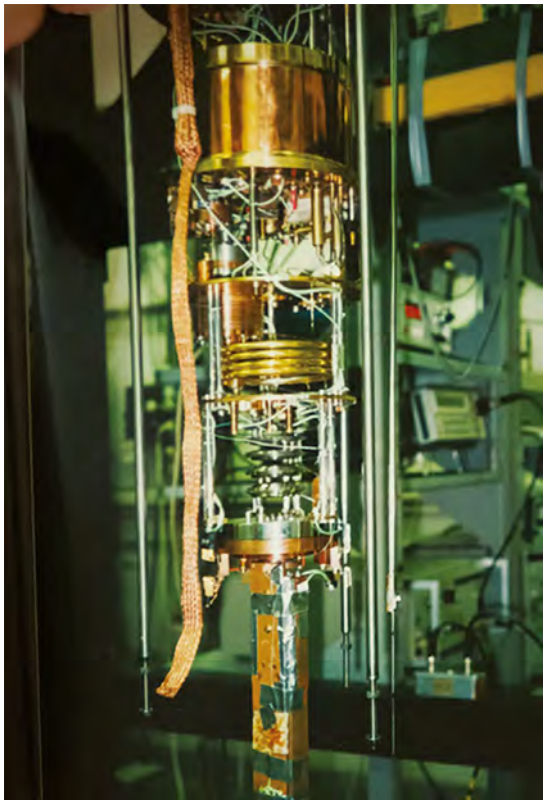
Figuur 2 | Opstelling in 1990. Bart Geerligs was de promovendus die het apparaat in gebruik nam.

De S200 leverde de basistemperatuur bij de mengkamer. Daarmee begon het pas, zoals wij en andere groepen in de praktijk moesten ontdekken. Warmteoverdracht bij zeer lage temperaturen is een ingewikkeld proces, waarbij elektronen en roostertrillingen snel uit evenwicht raken. Alle meetdraden en hoogfrequent aansluitingen moesten met uiterste zorgvuldigheid van filters worden voorzien op verschillende temperatuurniveaus; de elektronen in het sample eindigden anders gauw op een veel hogere temperatuur dan die van de mengkamer. Er waren nog geen recepten, je kon de oplossing niet kopen. Wij leerden veel uit gesprekken met vrienden in Parijs die in diezelfde tijd soortgelijke metingen startten. De kwaliteit van de metingen en de zichtbaarheid van nieuwe effecten werden hier bepaald.

Resultaten

Direct na het opleveren door Oxford Instruments werd gestart met het aanbrengen van onze bedrading. Meteen daarna werd de eerste echte meting gestart, en wel aan gekwantiseerde elektrische geleiding. In een project samen met Philips was kort daarvoor waargenomen dat de geleiding van

een vernauwing in een tweedimensionaal elektronengas niet geleidelijk veranderde als de breedte werd gevarieerd, maar in vaste stappen. Die stappen hadden een fundamentele waarde, bepaald door natuurconstanten en niet door breedte of temperatuur. Niemand had dat voorspeld. Met de gloednieuwe S200 kon het effect goed worden vastgelegd voor de publicatie. Bart van Wees (nu hoogleraar in Groningen) en Leo Kouwenhoven waren Delftse auteurs, samen met Philips collega's Henk van Houten en Carlo Beenakker (nu in Leiden).



Figuur 3 | Het binnenste na verwijdering van stralingsschermen. Onderaan is de mengkamer met daaraan het sample waaraan gemeten wordt.

Een ander team uit de groep gebruikte zelfgemaakte, zeer kleine tunneljuncties van aluminium. Transport van elektronen door gebiedjes met uiterst kleine elektrische capaciteit werd bestudeerd. Een enkel elektron leverde een ladingsenergie op van ongeveer 1 K. Dat gaf aanleiding tot een zogenaamde Coulomb-barrière: zonder aangelegde spanning geen geleiding. In samenwerking met de groep in Parijs slaagde Delft erin om een draaideur voor elektronen te fabriceren. In de S200 werd dit device aan radiofrequente straling onderworpen waarbij elke periode precies een, twee of drie elektronen werden doorgesluisd.

Niet veel later werd een soortgelijke draaideur gerealiseerd in de halfgeleiderstructuren, nu door puntcontacten open en dicht te zetten op het ritme van het hoogfrequentsignaal. In dit materiaalsysteem werd een eiland tussen twee quantum-puntcontacten een kunstmatig atoom. Het elektronenaantal kon worden gevarieerd, met een tweedimensionale versie van het periodiek systeem als gevolg. In een sterk magneetveld kon de spintoestand van de elektronen worden gemanipuleerd. Een zee aan mogelijkheden ontstond.

Bij de metallische tunneljuncties verschoof de aandacht naar supergeleiding. In een supergeleider wordt de elektrische lading gedragen door paren van twee elektronen. Die ladingsverdubbeling was duidelijk te zien. De quantum-golffunctie van de paren heeft een fase, die de tegenhanger is van de lading. Lading en fase kunnen niet tegelijk goed gemeten worden. Die ontdekkingen gaven aanleiding tot het ontwikkelen van quantumbits (qubits) voor quantum-informatieverwerking. Het zogenaamde flux-qubit met superpositietoestanden van macroscopische kringstromen werd voor het eerst in Delft vervaardigd en voor het eerst in de S200 bemeten.

Ook bij de halfgeleiderstructuren werden qubits ontwikkeld, waarbij de twee quantumtoestanden spin-up of spin-down zijn. Een van de laatste metingen in de S200 betrof een bijzonder systeem van een halfgeleider-nanodraad met elektroden, speciaal ontworpen voor het zoeken naar Majoranadeeltjes. Zulke Majorana's waren wel voorspeld maar nooit gezien. Hun aanwezigheid kon worden aangetoond. Mogelijk kan hieruit een topologische quantumcomputer voortkomen. Leo Kouwenhoven is de leider van dit onderzoek.

In de loop der jaren werden ook nanostructuren van andere materialen in de S200 onderzocht. Verschillende pogingen werden gedaan om elektrische geleiding door een enkel molecuul waar te nemen, maar jarenlang bleek het onmogelijk elektroden betrouwbaar aan te brengen. Bijna steeds waren de metingen niet reproducerend. Koolstof-nanobuizen, uit zichzelf recht en stijf, werden toen de grote uitzondering. De elektrische geleiding van een enkele koolstof-nanobuis kon worden gemeten, onder aanvoering van Cees Dekker. Sommige buizen zijn halfgeleidend, andere metallisch, het verband met de atomaire structuur kon goed worden vastgelegd. Een eerste transistor werd gemaakt.

Impact

De S200 mengkoeler gaf Quantum Transport in Delft de kans een vooraanstaande plaats in de wereld te veroveren. De robuuste kracht van een voor metingen geoptimaliseerde mengkoeler gecombineerd met robuuste nanofabricage opende unieke mogelijkheden. Veel artikelen werden gepubliceerd, waarvan zo'n 35 in Nature of Science. Zeker 10 artikelen werden meer dan 1000 keer geciteerd. Het grootschalige werk aan quantumcomputers in QuTech, in samenwerking met Intel en Microsoft, is direct voortgekomen uit eerdere metingen in de S200.

Het cyclohexaanmodel van Böeseken

J.A. Peters en H. van Bekkum

Inleiding, de periode tot 1920

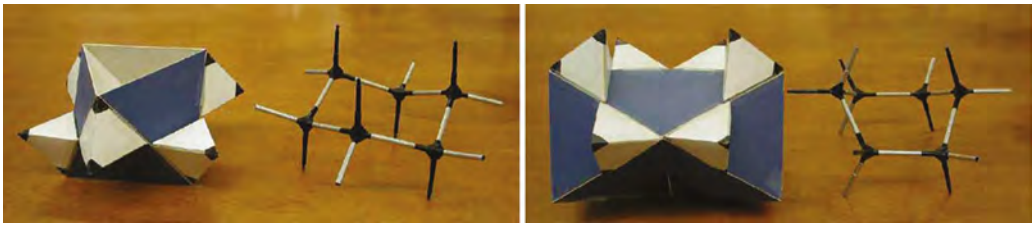
Een belangrijke doelstelling van de chemie is het bepalen van het verband tussen de moleculaire structuur en de eigenschappen van de materie. Met deze kennis kunnen bijvoorbeeld syntheses ontworpen worden van nieuwe chemische verbindingen met voorspelbare eigenschappen. Modellen zijn altijd belangrijk geweest om het inzicht te verkrijgen in moleculaire structuren. Vroeger konden organisch chemici goed uit de voeten met 2-dimensionale structuurmodellen, waarin de atomen door hun symbolen en de bindingen ertussen door streepjes of een punt werden weergegeven. In 1874 realiseerde de Delftse alumnus en latere eerste Nobelprijswinnaar chemie (1901) Van 't Hoff, zich dat structuurformules in het platte vlak niet voldeden om bijvoorbeeld het voorkomen van links- en rechtsdraaiend melkzuur (verbindingen met identieke 2-dimensionale structuurformules) te verklaren. Daarom stelde hij uitbreiding naar drie dimensies voor. Hij postuleerde dat een C-atoom in een verzadigde koolwaterstof omringd is door vier monovalente groepen, gelegen op de hoekpunten van een tetraëder rondom het C-atoom. Van 't Hoff gebruikte hierbij kartonnen tetraëders als model. Toentertijd gebruikten de meeste organisch chemici commercieel verkrijgbare, door de Gentse hoogleraar *Kekulé ontworpen* molecuulmodellen, waarin de atomen voorgesteld werden door bolletjes, die in het geval van koolstof voorzien waren van 4 tetraëdrisch geplaatste staafjes. De bolletjes werden verbonden door een buigbare koppeling van de staafjes. Waarschijnlijk op basis van zo'n model (figuur 1) kwam Baeyer in 1885 met de, zoals we nu weten, foutieve hypothese dat de C-atomen van cyclische koolwaterstoffen altijd in één vlak liggen [1]. Voor bijvoorbeeld cyclohexaan is dat alleen mogelijk in een gespannen systeem met geknikte C-C bindingen. In 1890 bewees Sachse mathematisch dat er twee spanningsvrije niet-vlakke "conformaties" (geometrische vormen) van cyclohexaan mogelijk zijn: de starre stoel- en de flexibele bootconformatie, die mogelijk snel in elkaar overgaan (figuur 2). Sachse instrueerde zijn lezers om kartonnen modellen analoog aan die van Van 't Hoff te maken om dit in te zien (figuur 2). Hoewel Mohr in 1918 met Röntgendiffractie vaststelde dat de stoelconformatie van cyclohexaan voorkomt in diamant, werd er tot ongeveer 1950 weinig aandacht besteed aan de theorie van Sachse-Mohr. Vrij algemeen werd de vlakke conformatie van Baeyer als de effectieve structuur beschouwd, het resultaat van middeling van conformaties.

De Delftse school van Böeseken

Het behalen van de doctorsgraad was voor Jacob Böeseken (Rotterdam 1868 – Delft 1949) niet eenvoudig. Hij had diploma's Hoogere Burgerschool Rotterdam en Polytechnische School Delft op zak, maar dat gaf geen toegang tot de promotie aan een Nederlandse universiteit. Daartoe was

kennis van de klassieke talen Grieks en Latijn vereist. Prof. Holleman wist voor elkaar te krijgen dat zijn assistent Böeseken aan de universiteit van Basel mocht promoveren op organisch werk dat hij te Groningen o.l.v. Holleman verricht had. Een hoogstandje van Holleman. Titel proefschrift: "Über die Einwirkungsprodukte der primären Amine auf die Dinitrosacyle". Böeseken promoveerde in 1897 met de kwalificatie magna cum laude.

Figuur 1 | Kekulé model van de door Baeyer voorgestelde structuur van cyclohexaan.



Figuur 2 | Kartonnen modellen van Sachse van cyclohexaan stoel (links) en boot (rechts). Daarnaast, ter vergelijking, de later gebruikte Dreiding modellen.

Na zijn promotie maakte Böeseken snel naam als organisch chemicus, eerst als enige assistent van Holleman. Goed betaald werd hij niet, en om den brode aanvaardde Böeseken, die een gezin wilde stichten, een baan als leraar scheikunde te Assen. In de schaarse vrije tijd werd geëxperimenteerd. Met werk aan katalytische aromatische acylering was Böeseken beslist zijn tijd vooruit. Toen Holleman in 1904 inging op een aanbod van de universiteit van Amsterdam was Böeseken een der kandidaten voor de opvolging. Ondanks steun van Holleman legde Böeseken het hier af tegen de ervaren Eykman, hoogleraar Pharmacie te Groningen en kreeg als troostprijs een lectoraat in de propaedeutische chemie. Dat werd een korte tussenstop want reeds in 1907 werd Böeseken benoemd tot hoogleraar te Delft als opvolger van Hoogewerff, die na een glansrol als rector, op 60-jarige leeftijd opstapte. Te Delft ontwikkelde Böeseken zich tot een veelzijdig onderzoeksleider. Katalyse i.h.b. met $AlCl_3$ bleef een belangrijk item. De katalytische acylering groeide naar een serie van 10 publicaties. De begaafde promovendus H.J. Prins ontdekte in 1912 de katalytische additie van kleine polyhalogeenverbindingen

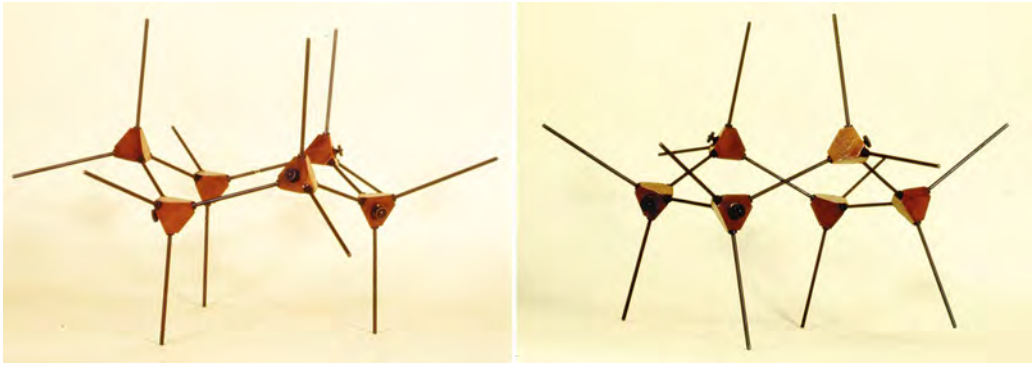
zoals chloroform, aan polyhalogeensystemen zoals tetrachlooretheen. Serendipity speelde hier een rol. De omzetting kreeg de naam Prins-reactie. Enkele jaren later werd een tweede Prins-reactie gevonden: de katalytische additie van carbonylverbindingen als formaldehyde aan alkenen, zoals isobuteen. Weinigen zullen twee reacties op hun naam hebben. Een ander Böeseken-onderzoeksgebied was de oxidatie met peroxy-verbindingen zoals perazijnzuur. Een highlight was de oxidatie van 1,2-dihydroxybenzeen met perazijnzuur naar muconzuur.

Het belangrijkste onderzoeksgebied van Böeseken c.s. was de systematische studie van interacties tussen polyhydroxy-verbindingen (b.v. suikers) en boorzuur met geleidbaarheidsmetingen. Het doel was opheldering van de ruimtelijke structuur van suikers. Hij stelde vast dat als O-atomen van naburige hydroxylgroepen kunnen binden aan het B-atoom van boraat, de zuursterkte van boorzuur en daarmee de geleidbaarheid toeneemt. Het bleek dat dit effect alleen optreedt als de positie van naburige hydroxylgroepen in de betreffende polyhydroxy-verbinding zodanig is dat binding aan boraat zonder al te veel reorganisatie mogelijk is, m.a.w. als de hydroxylgroepen gepre-organiseerd zijn.

In de periode 1920-1924 had Böeseken een aantal briljante promovendi onder zijn hoede met ideeën die hun tijd ver vooruit waren. Zij onderzochten de interactie van boorzuur met dihydroxylderivaten van cyclische koolwaterstoffen als modelstoffen voor suikers.

De molecuulmodellen van Derx

Met geleidbaarheidsmetingen aan systemen van boorzuur en diolen van verzadigde 5- en 6-ringen leverde promovendus Derx als eerste een experimenteel bewijs voor de juistheid van de dan vergeten hypothese van Sachse [2]. Hierbij gebruikte hij molecuulmodellen, die door een instrumentmaker vervaardigd waren. Een daarvan (een cyclohexaan stoel) is bewaard gebleven en de afgelopen 20 jaar in de gang van het Laboratorium voor Organische Chemie aan de Julianalaan tentoongesteld geweest (figuur 3). Derx' modellen bestonden uit houten tetraëdertjes, die de C-atomen voorstelden, met messing staafjes in de hoekpunten. H-atomen werden aangenomen op de vrije uiteinden van C-gebonden messing staafjes te zitten, terwijl O-atomen werden weergegeven met bolletjes. Belangrijk was dat de C-C bindingen in tegenstelling tot die in Kekulé modellen niet konden knikken en bovendien vrij draaibaar waren. Bij manipulaties blijkt duidelijk dat de stoelconformatie star is, maar wel na overwinnen van enige weerstand kan omklappen in de flexibele bootconformatie. Promovendus Hermans heeft later in samenwerking met de Delftse hoogleraar in de thermodynamica Scheffer uit evenwichtsreacties van de betreffende diolen met aceton (een reactie enigszins analoog aan de boorzuurinteractie) en met krachtveldberekeningen avant la lettre aangetoond dat de stoelconformatie het meest stabiel is.



Figuur 3 | Derx modellen van cyclohexaan stoel (links) en boot (rechts).

De verdere ontwikkeling van de conformatieanalyse van cyclohexaan

Het werk van de Delftse school was hetzelfde lot beschoren als dat van Sachse: nauwelijks weerklank onder organisch chemici en verdwenen in de vergetelheid. Deze onderzoekers waren hun tijd te ver vooruit. Rond 1950, toen er inmiddels veel meer bekend was geworden over chemische binding en Hassel met elektronendiffractie de stoelconformatie van cyclohexaan had bewezen, nam de belangstelling voor conformatieanalyse sterk toe, vooral in het toen populair wordende onderzoekgebied van de steroïden, verbindingen met een skelet bestaande uit cyclohexaan- en cyclopentaanringen. Barton publiceerde in 1950 een artikel over de conformatie van steroïden in het tamelijk obscure tijdschrift Experientia, waarin hij veel conclusies trok met betrekking tot cyclohexaanderivaten, die bijna 30 jaar eerder al door de Delftse school waren geopperd. Opmerkelijk is dat Barton voor zijn research bij een horlogemaker modellen had laten maken, die verrassend veel op die van Derx leken. Barton en Hassel kregen in 1969 de Nobelprijs voor hun werk aan de ontwikkeling van de conformatieanalyse. Later schreef Barton aan Hermans: "The question why the work of this school (de Delftse school) was not well appreciated is an interesting one. I think myself, that theoretical treatment only becomes well accepted if there is a real need for a large body of chemists to use it". Op basis van Bartons molecuulmodellen zijn de tot 2005 commercieel verkrijgbare Dreidingmodellen ontwikkeld. Tegenwoordig worden meestal computermodellen gebruikt, waarvoor zelfs redelijk goede freeware op internet te vinden is.

Böesekens boorzuurmethode

Met de door hem ontwikkelde boorzuurmethode bepaalde Böeseken de positie van hydroxylgroepen in een groot aantal suikers. Hij was de eerste die erin slaagde om de configuratie van α- en β-D-glucose (de bouwstenen van resp. zetmeel en cellulose) op te helderen. Tevens verkreeg hij veel inzicht in het mechanisme van de mutarotatie van deze suikers, een fenomeen dat zich o.a. uit in een verandering van de optische draaiing in de tijd van een vers bereide oplossing van een van deze suikers. Een jaar voor zijn overlijden heeft hij zijn omvangrijke oeuvre op dit gebied samengevat in een veel geciteerd

overzichtsartikel [3]. Het werk vormt de basis van de boorzuurchemie, die een grote verscheidenheid aan toepassingen heeft gevonden, zoals in katalyse, de aardolie-exploratie, glucosesensoren (voor diabetici), en antikankermiddelen (het boorzuurderivaat bortezomib) [4].

De wetenschappelijke erfenis van Böeseken

De invloed van Böeseken op het Delftse onderzoek is tot op de dag van vandaag merkbaar. Ruimtelijke aspecten waren en zijn steeds belangrijk. Zo heeft prof. Wepster uitgebreide studies gedaan naar de sterische beïnvloeding van 'mesomerie' (de localisatie van elektronenparen in systemen met dubbele bindingen). Ook in het latere onderzoek aan zeolieten in de Van Bekkum groep speelden sterische factoren een grote rol, wederom ondersteund door 'home-made' modellen. Het onderzoek aan boorzuur en derivaten werd in de tachtiger jaren weer opgepakt door de Delftse groep. Voortbouwend op het werk van Böeseken kon veel kennis verkregen worden, die toepassing vond in vele gebieden (zie boven). Recent hoogtepunt is een door Djanashvili ontworpen tumor-selectief contrast reagens voor MRI.

Figuur 4 | Bronzen plaquette met portret van de scheikundige prof.dr.ir. J. Böeseken

WERKTUIGBOUWKUNDE, MARITIEME TECHNIEK EN MATERIAAL-WETENSCHAPPEN (3mE)

Offshore techniek in Delft

G. Lagers

Vroeger leerden we het nog op school: Nederland was arm aan grondstoffen. Weliswaar was een van de grootste oliemaatschappijen ter wereld, de Koninklijke Olie (Royal Dutch Shell Group), van Nederlandse oorsprong, maar dat was gebaseerd op vondsten in het voormalige Nederlands-Indië. Binnen de grenzen van Nederland zelf had Shell in samenwerking met Esso exploratie verricht, maar van grote vondsten was tot 1943 geen sprake geweest. In dat oorlogsjaar ontdekte de Bataafsche Petroleum Maatschappij (BPM, een Shell dochtermaatschappij) zware olie bij Schoonebeek. Om dit veld te exploiteren werd in 1947 de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM) opgericht, een permanente joint venture van Shell en Esso. Nadat de NAM in 1959 gas had aangeboord bij Slochteren, begon de internationale energie-industrie zich serieus af te vragen of er in het Noordzeegebied misschien toch fossiele brandstoffen te vinden zouden zijn.

In 1961 had de eerste proefboring vanaf een zelfheffend booreiland, de "Triton", op de Noordzee plaats. In Nederlands territoriaal water bij Kijkduin, hemelsbreed niet verder dan 15 km van Delft verwijderd. De techniek van het boren op zee was inmiddels beproefd sinds de eerste echte offshore-boring was uitgevoerd in de Golf van Mexico in 1947. Nederland had er in beperkte mate kennis mee gemaakt dankzij de BPM, die in 1958 een zelfheffend booreiland had laten ontwerpen en bouwen door de Werf Gusto te Schiedam. Het boren bij Kijkduin leverde geen vondst op en misschien komt het wel daardoor, dat de TH te Delft pas jaren later belangstelling voor offshore techniek begon te tonen. Voor de TH waren olie en gas zaken die thuishoorden bij de afdeling Mijnbouwkunde, de latere Applied Earth Sciences van de TUD.

Inderdaad jaren later: in 1980 werd ir. Albert Starink (Shell) als eerste aangesteld als buitengewoon hoogleraar Offshore Technologie aan de afdeling Civiele Techniek, nadat 9 jaar eerder de KIVI-afdeling Onderwatertechniek was begonnen te lobbyen voor hoger onderwijs op haar gebied. Dat had al eerder geleid tot de oprichting in 1975 van de Werkgroep Offshore Technologie aan de TH. Intussen had de ontwikkeling van de techniek niet stilgestaan. De Kijkduinboring van de NAM resulteerde dan wel in een 'dry hole', in een ander deel van de Noordzee had BP meer succes. In 1965 boorde BP gas aan in haar concessie 'West Sole' en gaf daarmee de aftrap voor een snelle en omvangrijke ontwikkeling in het Noordzeegebied. Ook in West Sole werd een zelfheffend booreiland, een zgn. jack-up, gebruikt: de 'Sea Gem'. Net als de Triton was de Sea Gem ontworpen voor de Golf van Mexico. Dit werd op dramatische wijze duidelijk toen drie maanden later twee palen van het eiland bezweken en het geheel in de golven verdween. Dit en andere incidenten maakten duidelijk dat voor het opereren onder Noordzeecondities nieuwe ontwerpen en technieken moesten worden ontwikkeld. Dat gebeurde dan ook, vooral in Nederland, Noorwegen en Engeland, terwijl de Amerikaanse belangstelling voor de Noordzee onverminderd groeide. In het begin leunde de nieuw opkomende Europese offshore-industrie zwaar op de ervaringen van Amerikaanse bedrijven maar gaandeweg kreeg offshore

technologie in de Noordzee een eigen 'smoel' die meer dan de Amerikaanse techniek was gebaseerd op theorie en analyse. Opvallend was dat in de beginjaren het bedrijfsleven hierbij de ontwikkeling leidde en dat overheid en instituten volgden. Een uitzondering vormde het Engelse Department of Energy (DoE) dat uitgebreide voorschriften publiceerde hoe een productie-eiland of andere installatie ontworpen moest worden om goedgekeurd te worden voor werk op het Engelse Continentale Plat. Dit Engelse beleid werd overigens na de ramp met de Piper Alfa in 1988 drastisch gewijzigd.

Nederland had bij het Verdrag van Genève (1958) een deel van de Noordzee toegewezen gekregen dat nergens dieper was dan 45 m. Maar Nederlandse ondernemers keken verder en ontwikkelden ontwerpen, procedures en werkmethoden voor het Engelse, Deense en Noorse plat en uiteindelijk voor wereldwijde toepassingen. Toen Starink in 1980 als hoogleraar begon, had Nederland inmiddels een sterke positie op de Noordzee offshore markt, vooral op het gebied van bouw en installatie van productieplatforms. De combinatie van ondernemerschap en innovatieve kracht van bedrijven als Heerema Engineering Services, IHC Gusto, Fugro en vele andere leidde ook tot succes op de wereldmarkt. Maar in zijn intreerede (1981) spreekt Starink over: "het gemis van een duidelijk inzicht in, of een afspraak over het begrip offshore". Voor de specialistische industrie was het begrip offshore duidelijk, maar de Nederlandse maatschappij, inclusief de TH had er nog geen beeld van. De Nederlandse pers droeg niet veel bij aan de juiste beeldvorming en had bovendien de gewoonte elk offshore-object een booreiland te noemen. Zelfs de Brent Spar, een drijvende opslagtank die in 1995 brede belangstelling genoot wegens Shells voornemen hem af te zinken, ontkwam niet aan deze 'mishandeling'. En dat terwijl dezelfde spar in Nederland was bedacht en ontwikkeld (Shell/Gusto, rond 1970), gebouwd (Gusto/Wilton Feyenoord, 1975) en door een Nederlands bedrijf op de Noordzee geïnstalleerd (Netherlands Offshore Company, 1976). Ook andere innovaties kwamen uit Nederland: het dynamisch gepositioneerde boorschip Pelican (Gusto, 1972), de semi-submersible Noordzee pijpenlegger Viking Piper (Gusto, 1975), de tweeling kraan semi-submersibles Balder en Hermod (Heerema, 1979). Ook zijn voor zowel het Nederlandse als het overige deel van de zuidelijke Noordzee productieplatforms gebouwd door Grootint, Mercon, HCM, Gusto Staalbouw en andere. De ontwerpen van deze platforms werden gemaakt door verschillende ingenieursbureaus, die mede door afgestudeerden van de TH werden bemand. Toen professor Starink in 1984 met emeritaat ging, waren er ervaren ingenieurs beschikbaar bij de bureaus om voor opvolging in aanmerking te komen. Bij Civiele Techniek werd ir. Johan Wolters (Protech) aangesteld, bij Werktuigbouw ir. Marinus van Holst (Marcon) en bij Maritieme Techniek ir. Bart Boon (Gusto Engineering). Deze situatie heeft niet lang geduurd: in 1992 werd als enige offshore hoogleraar dr.ir. Jan Vugts benoemd bij de faculteit Civiele Techniek van de inmiddels Universiteit geworden TH. Intussen had ook bij Civiele Techniek de eerste 'offshore promotie' plaats gehad: in 1991 verkreeg Ping Liu de graad van doctor met een proefschrift over de dynamica van een jack-up platform.

Terwijl de ontwikkeling in de industrie stormachtig genoemd kon worden, bleef de belangstelling van studenten om zich te specialiseren in offshoretechniek beperkt. Dat veranderde pas toen de bachelor-master structuur werd ingevoerd op de Technische Universiteit Delft en men een ingenieursdiploma in Offshore Engineering kon verwerven. Vanaf 2004 groeide het aantal studenten snel en momenteel

bedraagt dit rond de 350-400 verdeeld over de twee jaren van de masterstudie. De huidige neergang in offshore-activiteiten zal het aantal nieuwe studenten waarschijnlijk wel drukken.

Intussen werd prof. Vugts in 2001 opgevolgd door ir. Jan Meek, die tot en met 2007 leiding gaf aan de afdeling en de overgang van Civiele Techniek naar 3mE (Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering) initieerde. Dat was een logisch gevolg van de accentverschuiving in de offshore-industrie van 'bottom founded structures' naar drijvende constructies, een direct gevolg van de trend naar boren en produceren in steeds dieper water. Bluewater en SBM werden markante spelers in het veld van de FPSO's, de 'Floating Production Storage and Offloading Systems'. Deze units, die veel weg hebben van een supertanker met een processing plant aan dek, zijn sedert de jaren negentig zeer populair geworden, toepasbaar in elke waterdiepte, te installeren zonder gebruik van de grote offshore kranen en geschikt voor zowel kleine als grote oliereservoirs. In het gebouw van Civiele Techniek en Geowetenschappen staat een model van het FPSO-schip Kikeh (zie figuur 1). Het schip is een conversie van een tanker die in 1974 door IHI Corporation in Japan gebouwd is. De naam van de tanker was Stena Conductor.

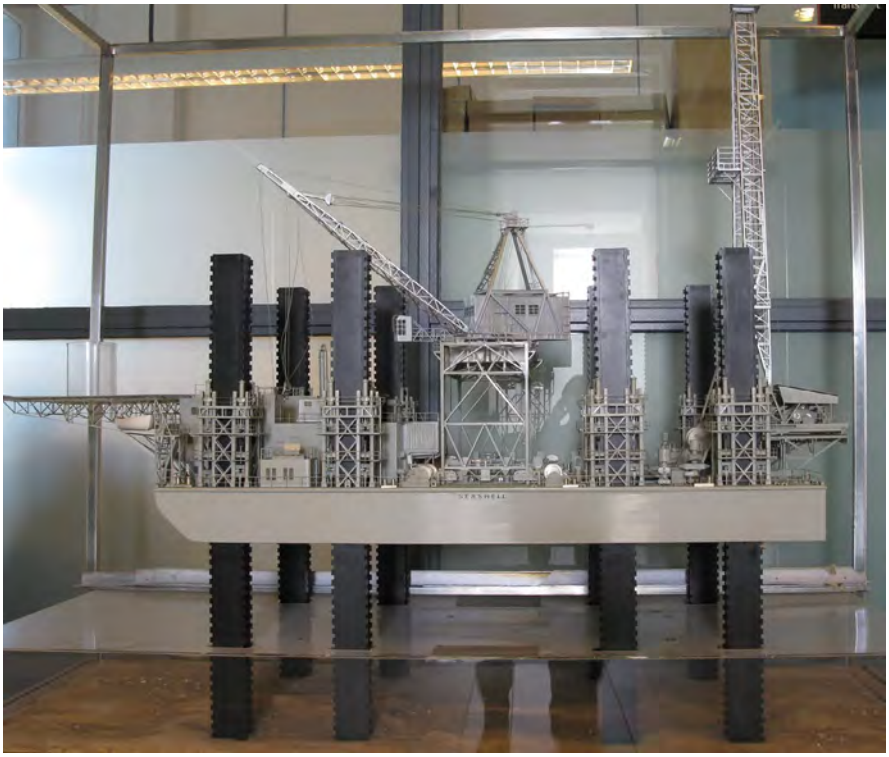
Figuur 1 | FPSO Kikeh met opvallende turret voor de boeg.

De conversie is uitgevoerd door MMHE (Malaysia Marine & Heavy Engineering) in de periode 2005-2007. Murphy Sabah Oil Co. Ltd. least de FPSO Kikeh van een joint venture van SBM Inc. en Malaysia International Shipping Corporation (MISC) Berhad. Kikeh valt vooral op door de enorm grote externe

turret (unit boven de boeg waar de olie binnenkomt). De Kikeh werd in 2007 operationeel in het Kikeh-veld voor de kust van Sabah, Oost-Maleisië en heeft een opslagcapaciteit van 2 miljoen vaten en een productiecapaciteit van 120 000 vaten per dag.

De nieuwste ontwikkeling op dit terrein is de LNG FPSO, met als markant voorbeeld de Prelude, die op afzienbare termijn voor Shell vloeibaar gas gaat produceren in Australië.

Het begrip offshore beperkt zich niet tot olie en gas onder de zeebodem. Bij ODE (Offshore & Dredging Engineering) zoals de masteropleiding nu heet, kan men ook kiezen voor ontwerpen van offshore windenergiecentrales, getijdecentrales, enzovoort. De verbindende factor tussen de verschillende specialisaties is een brede kennis van de vele aspecten die een rol spelen in de offshore industrie: golf- en windklimaat op zee, materiaalkennis, kwalitatieve en kwantitatieve veiligheidsaspecten, dynamica van constructies en bovenal: innovatief denken. Het is dankzij dit multidisciplinaire karakter van offshore-engineering, dat geheel nieuwe objecten kunnen worden ontwikkeld. Een mooi voorbeeld daarvan vormt het hefschip 'Pioneering Spirit', het geesteskind van ir. Edward Heerema (directeur eigenaar van de Allseas Group). Hoeveel ingenieursuren zijn gaan zitten in dit ontwerp laat zich gissen, in ieder geval een astronomisch aantal. De opleiding van offshore-ingenieurs aan de TU Delft als leverancier van kundige technici heeft daar een belangrijke bijdrage aan geleverd.



Figuur 2 | Model van een offshore platform in faculteit 3mE.

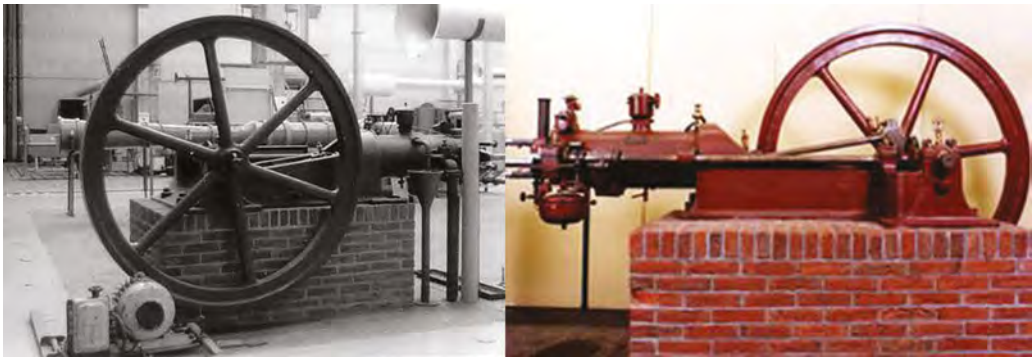
Werktuigbouwkunde en het machine-laboratorium

D. Stapersma

Periode tot 1905

Een groot aantal modellen van het erfgoed stammen uit de negentiende eeuw. Waar en hoe die apparaten voor het onderwijs aan de Polytechnische School zijn gebruikt of dat zij pas veel later zijn verkregen is niet bekend. Het zijn over het algemeen kleinere machines die hoogstwaarschijnlijk voor demonstratie- en onderwijsdoeleinden zullen zijn gebruikt.

Een voorbeeld is een vroege Otto motor (figuur 1), die in het erfgoed is opgenomen. In deze motor zijn een aantal belangrijke ideeën verwerkt: compressie en verbranding van een brandbaar mengsel en het 4-takt principe. Daarmee vormt deze machine de definitieve doorbraak van de verbrandingsmotor. Veel van deze motoren waren uitgevoerd als lichtgasmotor, d.w.z. werkend op gas uit gasfabrieken. Een groot aantal daarvan zijn rond de eeuwwisseling gebruikt naast stoom-gedreven werktuigen, maar in dezelfde tijd neemt met name in stationaire toepassingen het gebruik van de elektromotoren toe als gevolg van de opkomende elektrificatie [1]. Na 1905 lijkt het pleit beslecht ten gunste van de elektromotor en valt het doek voor stoom en lichtgasmotor als aandrijving van machines in de industrie. De Otto motor zal wel een grote rol gaan spelen in de opkomst van de automobiel.



Figuur 1 | Gasmotor van Otto-Bayer: één-cilinder lichtgasmotor met vlamontsteking, viertakt enkelwerkend, ca 3 pk bij 180 omw/min, eerste toepassing van een compressieslag. Links zoals opgesteld als demonstratiemodel in de hal achter het gebouw aan de Mekelweg rond 1967, rechts als opgenomen in erfgoedcollectie, nr 1996.0027.

Op een foto van de Polytechnische School uit 1895 [2] komen oud en nieuw samen in een "machinekamer" met daarin een "*Stoomwerktuig met electrodynamo*". Bij het erfgoed denkt men primair aan de "spullen", maar wellicht belangrijker zijn de mensen erachter en het onderwijs en onderzoek dat zij deden. Blijkens foto's in [2] waren dat in die tijd H.A. Ravenek, "*hoogleraar in de Werktuigkunde en kennis van Werktuigen*", alsmede A. Huet, "*leraar in de Werktuigkunde*".

Het laboratorium in het gebouw aan de Nieuwe Laan

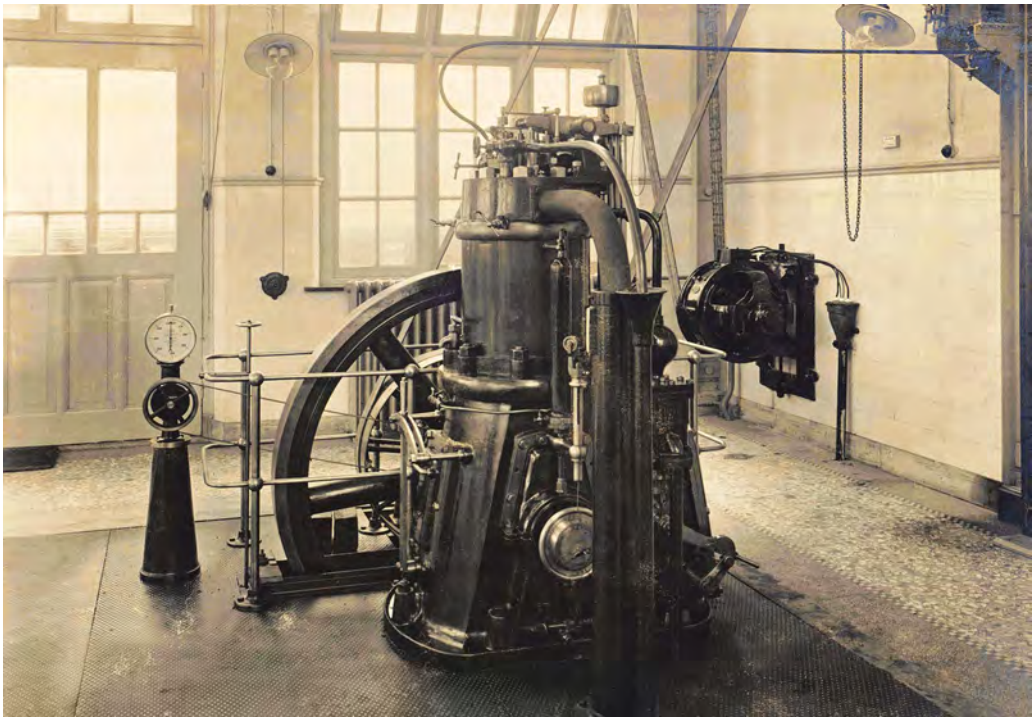
Wanneer de Polytechnische School in 1905 wordt verheven tot Technische Hogeschool heeft, zoals het gedenkboek uit 1930 [3] zegt, "de Nederlandse wetgever zich over deze geestelijke (sic!) werkzaamheid ontfermd door de technische wetenschap als zodanig te erkennen, haar op te nemen in de organisatie van het Hooger onderwijs en het doctoraat in de technische wetenschappen in te stellen". In de jaren voor de Eerste Wereldoorlog worden een groot aantal nieuwe gebouwen neergezet met nieuwe faciliteiten. Voor werktuig- en scheepsbouwkunde wordt in 1906 begonnen met het gebouw aan de Nieuwe Laan dat in 1911 in gebruik wordt genomen. Direct ernaast kwamen drie laboratoriumhallen en een ketelhuis. Later, in 1929, komt daar nog een vierde laboratoriumhal bij. Foto's uit de opbouwtijd zijn te vinden in [4]. Het gebouw is nog steeds aanwezig en er zijn nu woningen in te vinden. In de machinehallen zijn nu kantoren gevestigd en de schoorsteen van het ketelhuis staat nog overeind.

Volgens het gedenkboek uit 1930 [3] was laboratorium I ingericht voor de stoomwerktuigen en pompen en er stond in ieder geval een scheepsmachine die, anders dan de kleinere demonstratiemodellen, niet in het erfgoed is terechtgekomen. De hoogleraar voor stoomwerktuigen was toen prof. J.C. Dijxhoorn, actief op het gebied van scheepsvoortstuwing maar ook bekend van poldergemalen. Rond 1932 volgt prof. A.J. ter Linden hem op.

Verder was er een laboratorium voor verbrandingsmotoren opgedeeld in drie Laboratoria II, III en IV. Blijkens het gedenkboek [3] en fotoalbums [4] en [5] waren in lab II aanwezig "een zuiggasmotor van Enschede's Machinefabriek en IJzergieterij, een petroleummotor van Rennes uit Utrecht, een Bronsmotor van de Appingedammer Bronsmotorenfabriek en een voor viertakt en tweetakt bruikbare Dieselmotor van Werkspoor Amsterdam".

Van deze motoren is de Bronsmotor nog aanwezig in het erfgoed maar staat in bruikleen in het Brons museum in Appingedam (figuur 2). Merk op dat Bronsmotor, naast Dieselmotor als type aanduiding werd gebruikt. Het aanvankelijke probleem van de dieselmotor was het onder hoge druk inspuiten van de brandstof. De Groninger Jan Brons omzeilde dit probleem met zijn patent. In een bovenin de zuiger aangebracht "verstuiverbakje" werd gedurende de inlaatslag, dus bij lage druk, brandstof toegevoerd. Tijdens compressie werd het bakje verhit waarop de brandstof gedeeltelijk ontvlamde. De daardoor ontstane overdruk in het bakje drukte de brandstof via kleine gaatjes naar de cilinder waar de verbranding vervolgens plaatsvond. Dit proces kostte tijd en de verbranding vond (evenals in moderne common rail motoren!) na het bovenste dode punt plaats en werkte tot toerentallen van

600 omw./min. Evenals Rudolf Diesel wist Jan Brons licenties van zijn motor internationaal te verkopen. De komst van de hogedruk inspuitpompen van Bosch in de jaren 1920 betekende de doorbraak van de dieselmotor en markeerde het begin van het einde van de Bronsmotor.



Figuur 2 | Brons motor: één-cilinder viertakt motor geschikt voor ruwe olie, 16 epk bij 300 omw/min. Circa 1911-1914. Afkomstig uit het laboratorium voor verbrandingsmotoren aan de Nieuwe Laan te Delft. Gerenoveerd en in bruikleen gegeven aan het Brons museum in Appingedam.

Een concurrent uit diezelfde tijd en ook van Nederlandse bodem is de "ruwoliemotor" van Kromhout, het bedrijf van Daniel Goedkoop te Amsterdam (figuur 3). Waarschijnlijk is dit een middeldrukmotor waarbij, anders dan in de "hoge druk" dieselmotor, de ontsteking plaatsvond onder invloed van een gloeikop.

In lab III stonden apparaten voor brandstof- en smeerolieonderzoek. Hoe de samenwerking met het in Rijswijk aanwezige Shell lab, waar Broeze als assistent van Boerlage voor de 2de wereldoorlog zijn brandstofonderzoek deed, is niet bekend.

Het latere (1929) lab IV herbergde kleinere motoren: *"een 4-cilinder automotor, een eencilinder motor met variabele compressieverhouding voor het onderzoek van de klopvastheid van brandstoffen en twee kleine tweetact benzinemotoren, waarvan er een door water en de andere door lucht gekoeld werd"*. De eencilinder

proefmotor was door het laboratoriumpersoneel ontworpen en in eigen beheer gefabriceerd. Dit zou nog twee keer gebeuren.

Figuur 3 | Kromhout tweetakt ruwoliemotor No. 545, type RO1S, 18 pk, afgeleverd oktober 1911 aan de Poelpolder te Zuid Schalkwijk. Onderdeel van de TU Delft erfgoed collectie. In bruikleen gegeven aan het Kromhout museum in Amsterdam.

Prof. P(aul) Meyer was de hoogleraar. Hij kwam uit Duitsland en is reeds in 1911 in Delft benoemd. Zijn intreerede [6] geeft een unieke blik van een tijdgenoot op de dan nog prille verbrandingsmotor. Vanaf 1942 had prof. B.C. Kroon de leiding over het laboratorium voor verbrandingsmotoren en in 1946 werd prof. J.J. Broeze benoemd als buitengewoon hoogleraar. Een 2de proefmotor, een 2-takt twee-cilindermotor, wordt door Kroon in samenwerking met Bolnes, Brons, De Industrie en Kromhout opgezet. Daaruit zijn bij Bolnes en Brons na de oorlog nieuwe types 2-takt motoren gebouwd. Proefmotor en daarvan afgeleide motoren staan in een privé collectie te Hardinxveld Giessendam. Kroon treedt in 1954 terug met gezondheidsklachten en overlijdt het jaar daarop. In datzelfde jaar wordt prof. A.H. de Klerck als zijn opvolger benoemd.

De machinehal achter het gebouw aan de Mekelweg

In 1957 vormde het gebouw voor W&S aan de Mekelweg het begin van de latere campus in de Wippolder. Aan de achterzijde van het gebouw lagen de laboratoria waaronder een grote machinehal. Het "stoom" laboratorium I aan de Nieuwe Laan kreeg in 1961 een vervanger in de vorm van het nieuwe laboratorium voor Energievoorziening aan de Leeghwaterstraat waar prof. Broeze gewoon hoogleraar werd, overigens in *continue* verbranding. Daarmee was de scheiding tussen wat nu "Proces en Energie" heet en de "Machines" een feit. Die laatsten omvatten vanaf 1960 met de komst van prof. R.W. Stuart Mitchell ook gasturbines.

In de zestiger jaren stond er in ieder geval een drie-cilinder Bolnes motor welke enige tijd bij wijze van proef was uitgerust met drie kleine Holset drukvulgroepen in plaats van één grote. In de jaren '70 werd voor de 3de keer in eigen beheer een één-cilinder proefmotor ontwikkeld en gebouwd [7].

De opvolging van de in 1972 met pensioen gegane prof. A.H. de Klerck bleek een moeizame affaire. Uiteindelijk werd in 1978 prof. E. van den Pol, hoogleraar Scheepswerktuigkunde aan het Koninklijk Instituut voor de Marine (KIM) als buitengewoon hoogleraar aan de TUD benoemd. Het laboratorium voor verbrandingsmotoren in Delft werd echter niet door de TUD ondersteund en is in 1989 gesloten. Prof. van den Pol bouwde wel bij het KIM een mijnenveger (de "Dokkum") om tot een machinelaboratorium waar onderzoek naar brandstoffen en verbranding werd uitgevoerd. Pas in 1992 wordt de in 1979 met pensioen gegane Stuart Mitchell opgevolgd door prof. J. van Buijtenen.

Voor onderwijsdoeleinden bleven in het laboratorium de één-cilinder Bolnes en de 12-cil RUB dieselmotor en een kleine gasturbine achter die ten slotte in 1999 ook het veld moesten ruimen. Voor het onderwijs kwam er een kleine DAF vrachtwagen dieselmotor met drukvulling terug die werd opgesteld in een van de eerder voor gasturbines gebruikte meetcellen. In 2009 verhuist deze motor naar het gebouw Medemblik van het KIM in Den Helder.

Gebruik van de machines: onderwijs of onderzoek?

Het is duidelijk dat practica een belangrijk onderdeel van de studie waren wat ook blijkt uit een beschrijving in [3] van een practicum op de eerder genoemde scheepsmachine. Gelukkig eindigt de tekst met de observatie dat "de meerderheid van de studenten met bijzondere opgewektheid aan de werkzaamheden in het laboratorium deelnemen en dat deze de lust tot eigen onderzoek in hooge mate bevorderen".

Impliciet maakte de oprichting van de Technische Hogeschool in 1905 dat de laboratoria behalve voor onderwijs ook voor onderzoek gebruikt moesten worden en dat gold ook voor het machine-laboratorium. Meyer, Dijxhoorn en Ter Linden hebben tezamen voor de Tweede Wereldoorlog 13 promovendi gehad, in een tijd dat eigenlijk voornamelijk scheikundigen aan de TH promoveerden

[8]. Opvallend is de samenwerking met ander hoogleraren zoals De Haas (thermodynamica) en J.M. Burgers (stromingsleer) die beiden natuurlijk een fundamentele basis konden toevoegen. In tenminste twee gevallen maken promovendi van Meyer gebruik van machines in het laboratorium aan de Nieuwe Laan: van Dorp gebruikt de Fiat automotor en Binsbergen de Werkspoor motor.

Meyer publiceert ook een boek over alle aspecten van verbrandingsmotoren. Trillingen van motoren en hun invloed op de omgeving, zijn voor de Tweede Wereldoorlog ook onderzocht, door prof. Biezeno maar een bewijs voor samenwerking met het machinelaboratorium is niet gevonden.

Conclusie

Zoals beschreven zijn verbrandingsmotoren door de jaren heen gebruikt voor onderwijs en voor onderzoek. Van deze motoren zijn inmiddels enkele exemplaren uitgeleend aan externe musea en enkele kleine modellen bevinden zich in de TUD erfgoed collectie. Bij de groep Maritieme Techniek blijft de dieselmotor een belangrijke rol spelen in het onderwijs, en experimenteel onderzoek vindt nog plaats in de samenwerking met het laboratorium van het KIM in Den Helder.

Pingpongballen als wetenschappelijk instrument

J. Sietsma

Inleiding

Bij het begrip pingpongballen denken we niet direct aan wetenschap. Toch wist prof. Willie Burgers, in een tijd waarin zeer beperkte computers nog hele kamers vulden en geen grafische output gaven, sets pingpongballen te gebruiken als wetenschappelijke instrumenten om atomaire structuren te onderzoeken en beschrijven. De pingpongballenmodellen werden gebruikt om aankomende ingenieurs basisbegrippen van structuren in materialen bij te brengen en om wetenschappelijke inzichten daarin te ontwikkelen. Het mooie is dat deze modellen, bestaand uit aan elkaar gelijmde pingpongballen of met veertjes verbonden houten bolletjes, nog steeds gebruikt worden. Met name in het onderwijs werkt het toch veel beter om 3D-structuren in je hand te houden en van alle kanten te kunnen bekijken dan ze op een beeldscherm te zien draaien.

Willie (Willem Gerard) Burgers (1897–1988) was tussen 1940 en 1967 hoogleraar Fysische Scheikunde aan de Technische Universiteit Delft en is één van de *founding fathers* van de afdeling Materiaalkunde. Samen met zijn collega's Druyvesteyn van Natuurkunde en Jongenburger van Werktuigbouwkunde zag hij rond 1950 in dat metalen een zo belangrijke rol begonnen te spelen in technologische ontwikkelingen dat onderzoek en onderwijs in de metaalkunde een plaats moesten krijgen aan de Technische Hogeschool Delft, zoals deze universiteit toen heette. En zo geschiedde: in 1952 werd de Tussenafdeling der Metaalkunde opgericht, die in de afgelopen ruim 60 jaar geëvolueerd is tot de afdeling Materials Science and Engineering van de faculteit Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3mE).

Pingpongballen en atomen

Maar terug naar de pingpongballen. De pingpongballen staan voor atomen. Atomen vormen de kern van alle materialen en zijn daarom van groot belang voor alle technologische ontwikkelingen. De ordening van atomen in een materiaal (de "structuur") bepaalt de eigenschappen van dat materiaal. Een mooi voorbeeld is het element koolstof. Als de koolstofatomen in een gelaagde structuur van zeshoeken geordend zijn noemen we het materiaal grafiet en kunnen we er potloden van maken. We gebruiken het ook als smeermiddel. Als de koolstofatomen in een driedimensionale kubische kristalstructuur gerangschikt zijn, noemen we het materiaal diamant en dat is het hardste materiaal dat ons bekend is. We gebruiken de koolstofatomen dan als schuurmiddel. Beide materialen komen

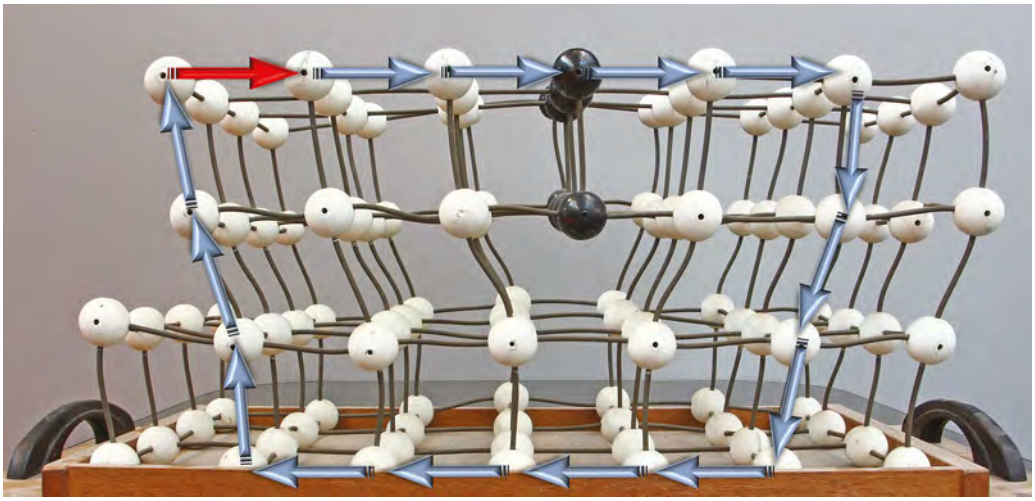
in de natuur voor, maar in de afgelopen decennia zijn ook kunstmatige varianten van koolstof ontwikkeld, zoals fullereen ("*bucky balls*"), nanotubes en grafeen. En dat allemaal op basis van alleen koolstofatomen. Ook voor metalen geldt dat de structuur bepalend is voor de eigenschappen en daarmee voor de toepasbaarheid. Prof. Burgers begreep in de vijftiger jaren heel goed dat wetenschappelijk onderzoek en onderwijs nodig was op het gebied van de metaalkunde om de relaties tussen vormingsprocessen, structuur en eigenschappen van metalen beter te begrijpen, met als doel om metalen met nieuwe en verbeterde eigenschappen te kunnen ontwikkelen. Zijn gelijk werd in die jaren bevestigd door het oprichten van het grootste pingpongballenmodel ter wereld, het Atomium in Brussel. (Het Atomium stelt de basiseenheid van de kristalstructuur van staal voor: acht ijzeratomen vormen een kubus, het negende atoom zit in het centrum van die kubus. Deze kristalstructuur heet Kubisch Ruimtelijk Gecentreerd.)

Dislocaties

Metalen zijn wat de atomaire kristalstructuur betreft saaier dan koolstof: de meeste metalen hebben de structuur die het Atomium voorstelt (Kubisch Ruimtelijk Gecentreerd) of iets dat daar sterk op lijkt. Toch kun je de eigenschappen van metalen heel sterk beïnvloeden door variaties in de structuur aan te brengen. Zo kan de sterkte van staal alleen al op basis van de "Atomium-structuur" met een factor 10 gevarieerd worden. De essentie ligt dan niet in de eerste plaats in de ideale kristalstructuur, maar juist in de *defecten* in de kristalstructuur, de afwijkingen van de ideale structuur. Anders dan bij voorbeeld in diamant is de vormingsenergie van structuurdefecten in metalen relatief laag en de defectconcentraties zijn daarom significant. Bij een defect kun je denken aan een vacature (een plaats in de structuur waar een atoom ontbreekt) of een korrelgrens (het vlak waarop twee kristallen met verschillende oriëntaties aan elkaar grenzen). Een vacature is een nul-dimensionaal (of punt-) defect, een korrelgrens is een tweedimensionaal defect. Maar in metalen komt ook een heel belangrijk eendimensionaal (of lijn-)defect voor, de dislocatie. Dislocaties zijn cruciaal voor het plastische vervormingsgedrag van metalen en komen voor in grote dichtheden, typisch tussen de 10^{10} en 10^{15} meter dislocatielijn per kubieke meter metaal. Het concept dislocatie was al voorgesteld door Taylor en door Orowan in 1934, maar er bestonden ook in de vijftiger jaren (en zelfs nu) nog vele vragen over het karakter en het gedrag van dislocaties.

Figuur 1 toont het pingpongballenmodel van een dislocatie dat aan vele generaties aankomende ingenieurs heeft duidelijk gemaakt hoe een dislocatie er op atomaire schaal uitziet. De zwarte atomen (die van hetzelfde element zijn als de witte atomen) vormen een "extra halfvlak" en de dislocatielijn is de onderste rand van dit halfvlak. Willie Burgers werkte samen met zijn broer Jan (J.M. Burgers, hoogleraar stromingsleer in Delft) aan het karakter en de karakterisering van dislocaties en de broers Burgers genereerden het meest beroemde Delftse stukje metaalkundige kennis: de Burgersvector. De Burgersvector is de rode vector in figuur 1 en wordt gevonden door op atomaire schaal een rondje (een "Burgerscircuit") te lopen rond de dislocatie: vier atoomstapjes naar rechts, drie naar beneden, vier naar links en drie omhoog. Vanwege de dislocatie kom je dan niet op je beginpunt uit (in een perfect

kristal zou dit wel het geval zijn); de vector die eind- en beginpunt verbindt is karakteristiek voor de dislocatie en wordt de Burgersvector genoemd. In deze tijd waarin aantallen citaties zo belangrijk zijn voor wetenschappers, hebben de gebroeders Burgers al lang het derde stadium bereikt: aanvankelijk wordt je werk niet geciteerd omdat andere wetenschappers het nog niet kennen of niet interessant vinden; dat is vervelend. In een later stadium wordt je werk bekender en word je steeds vaker geciteerd; dat is leuk. De meesten van ons bereiken echter niet het derde stadium, namelijk als je werk zo bekend is dat het wel overal gebruikt wordt, maar niet meer geciteerd. Dat geldt bij voorbeeld voor de wetten van Newton en Maxwell, maar ook voor de Burgersvector. Overigens kwam het echte idee voor de Burgersvector van Jan Burgers en Willie noemde zichzelf daarom in de hem kenmerkende bescheidenheid niet de vader, maar de oom van de Burgersvector.



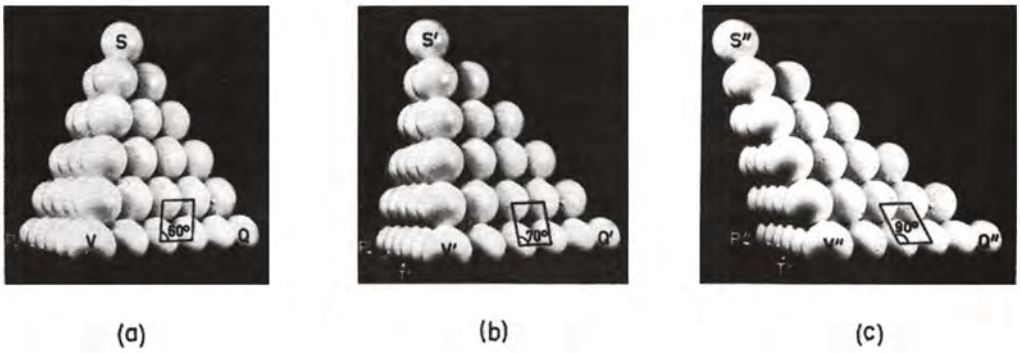
Figuur 1 | Een pingpongballenmodel met een dislocatie, een Burgerscircuit (blauw) en de Burgersvector (rood).

Fasetransformaties

Niet alleen bij het bestuderen van defecten in de structuur speelden de pingpongballenmodellen een rol, ook bij het bestuderen van veranderingen in de kristalstructuur, de zogenaamde fasetransformaties. Figuur 2 is een figuur uit een wetenschappelijk artikel van Willie Burgers uit 1964, waarin te zien is hoe de configuratie, en dus de kristalstructuur, van de atomen verandert.

Een fasetransformatie is bij iedereen bekend als bij voorbeeld het smelten van een vaste stof (van de vaste toestand naar de vloeibare toestand), maar een paar metalen (waaronder ijzer) kennen in de vaste toestand twee fasen, met verschillende kristalstructuren. Uitwendig zie je de transformatie niet, maar op atomaire schaal wijzigt de structuur wel degelijk. Een belangrijke vraag bij het begrijpen

van staal is: hoe brengen de atomen zo'n verandering in kristalstructuur tot stand? Met behulp van de modellen en fantastisch fysisch begrip en inzicht poneerden Burgers en zijn studenten een mechanisme voor de beweging van atomen waarmee de fasetransformatie tot stand komt. Dat fysische inzicht betrof de interactie tussen atomen in de structuur die bepalend is voor het thermodynamisch evenwicht en voor de kinetische processen. De beschrijvingen die op deze manier opgesteld konden worden waren echter eerder kwalitatief dan kwantitatief. Mede daarom zijn er nog steeds veel vragen rond het atomaire karakter van fasetransformaties. Naast experimenteel onderzoek worden er nu ook computersimulaties gedaan met Moleculaire Dynamica, waarbij enkele tienduizenden (in grote simulaties enkele miljoenen) atomen interageren via een uit experimenten afgeleide interatomaire potentiaal. Deze potentiaal kan gezien worden als het krachtenveld waarin een atoom zich bevindt, veroorzaakt door de omringende atomen. De daaruit resulterende atoombewegingen tijdens een fasetransformatie kunnen in deze simulaties gevolgd worden op de tijdschaal van picoseconden (1 ps = 10^{-12} s). Recente simulaties (zie figuur 3) geven het gelijk van de pingpongballen aan: de fysisch gebaseerde en kwantitatieve simulaties met Moleculaire Dynamica laten zien dat het mechanisme van Bogers & Burgers inderdaad voorkomt als je de atomen de vrijheid geeft om via hun interactiepotentiaal de fasetansformatie tot stand te brengen.

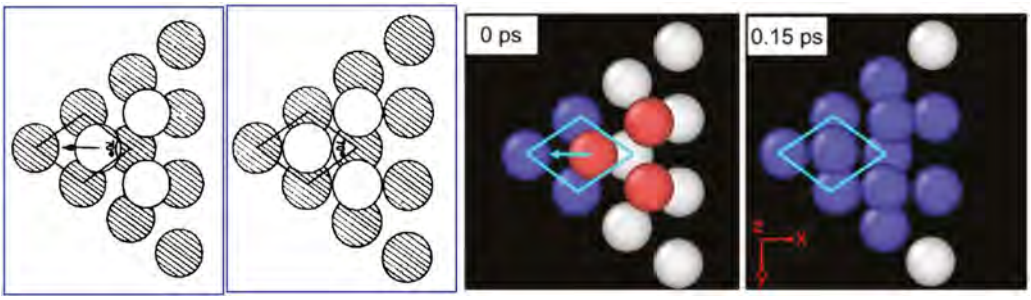


Figuur 2 | Foto's van pingpongballenmodellen in een wetenschappelijk artikel over fasetransformaties in metalen [1].

Levend erfgoed

Ook in 2016 staan materiaalkundige docenten met pingpongballenmodellen in de collegezalen en laten de studenten van dichtbij zien hoe atomaire structuren en hun defecten in elkaar zitten. Is dat van belang voor een ingenieursopleiding? Ja, want zowel onderzoekende als ontwerpende ingenieurs baseren hun werk uiteindelijk op het gedrag van atomen in structuren en materialen: wat gebeurt er als ze mechanisch belast worden, als de temperatuur omhoog gaat, als er een elektrisch veld aangelegd wordt, als er een corrosief milieu is? Natuurlijk vangen we dat in macroscopische

grootheden zoals de elasticiteitsmodulus of de elektrische weerstand, maar de fundamenten van deze grootheden liggen in het atomaire gedrag. Eens zal het mogelijk zijn om met een zaal studenten of in een wetenschappelijke discussie met promovendi je *virtual reality* brillen op te zetten en door een kristalstructuur te wandelen, dan wel achter een bewegende dislocatie aan te rennen bij plastische deformatie, maar zo lang dat praktisch nog niet het geval is blijven we de pingpongballenmodellen uit Burgers' kast halen.



Figuur 3 | Atomaire beweging tijdens een fasetransformatie in ijzer. Links het pingpongballenvoorstel van Bogers en Burgers [1], rechts het resultaat van computersimulaties met Moleculaire Dynamica [3]. Blauwe atomen in de rechterfiguur bevinden zich in de Kubisch Ruimtelijk Gecentreerde kristalstructuur, rode en witte in een andere structuur.

De gloeidraad anemometer

R. Delfos

Inleiding

Stromingsleer is de naam van het vakgebied dat 'stromende media' beschrijft. Dat medium kan lucht of water zijn, maar ook olie, mayonaise, of lucht-watermengsels. Als we het vakgebied wat ruimer nemen dan stromen zand- of suikerkorrels ook. Kortom, alles stroomt, of zoals Heraclitus het rond 500 vóór Christus verwoordde: 'Panta Rhei'. En dat is de naam van het dispuut voor studenten van het Laboratorium voor Aëro- en Hydrodynamica van de TU Delft, naar waar ik u wil meenemen.

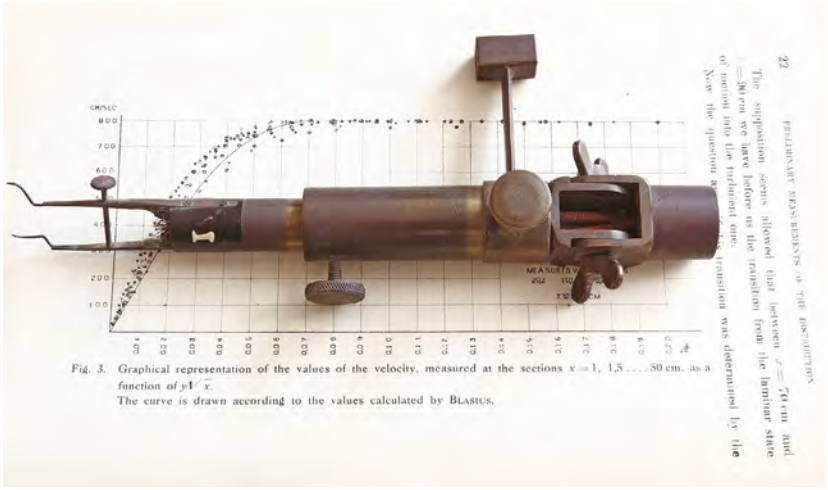
In 1918 werd het Laboratorium opgericht als onderdeel van de toenmalige Afdeling Werktuigbouwkunde en Scheepsbouwkunde van de Technische Hoogeschool te Delft. Het lab kwam onder leiding van Johannes Martinus (Jan) Burgers, de eerste Nederlandse hoogleraar specifiek op het vakgebied Stromingsleer. Burgers en zijn verdienste voor wetenschap en maatschappij zijn uitgebreid beschreven in [2,4,5]. Burgers was onder meer mede-grondlegger van de International Union for Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM) en is sinds 1991 naamgever aan de nationale Onderzoeksschool voor Stromingsleer, het JM Burgerscentrum.

De gloeidraad op de foto

Burgers – zelf geen ingenieur – zag het grote belang in van experimenteel onderzoek en zag het als zijn taak naast ingenieurstoepassingen toch vooral om fundamentele theorievorming en experimenteel onderzoek hand in hand te laten gaan. En dan komen we bij de gloeidraad. Beroemd is de schets van Leonardo da Vinci van de stroming uit een sluisgat, waarin hij nauwgezet laat zien en in woorden beschrijft dat een stroming kan opbreken in wervelende structuren van allerlei grootte. Bijna 400 jaar later komen we in 1883 bij Osborn Reynolds, die in een stroming van water door een buis middels injectie van inkt liet zien dat de stroming bij lage stroomsnelheden 'laminair' (mooi gelaagd) was, maar bij hogere snelheden 'turbulent' (wervelend) werd. Met een simpele meting liet hij zien dat in het turbulente regime de weerstand die de stroming in die buis ondervond niet-lineair verliep met de stroomsnelheid. De huidige Werktuigbouwkundestudenten mogen hetzelfde experiment overigens nog steeds doen als deel van hun tweedejaarspracticum.

Het kwantificeren van die turbulente stroming, daar was het Burgers om te doen. Samen met zijn hoofdmedewerker B.G. van der Hegge-Zijnen werkte hij aan de (verdere) ontwikkeling van de gloeidraadanemometer – in 1914 beschreven door L.V. King (zie [6]) – om toe te passen bij 'lokale' snelheidsmetingen. Een van de allereerste Delftse exemplaren uit 1921 is hier afgebeeld (zie figuur). Het meetprincipe is relatief simpel: een dunne metaaldraad (ook toen al van platina gemaakt!) wordt door

een constante elektrische stroom vanwege z'n eigen elektrische weerstand verwarmd. De draad wordt tegelijkertijd gekoeld door het langsstromende medium; waarbij geldt hoe sneller de stroming, hoe sterker de koeling. Omdat de elektrische weerstand van de metaaldraad varieert met de temperatuur van de draad kan door meting van de elektrische spanning over de draad de weerstand en zodoende – na kalibratie van het signaal – de stroomsnelheid bepaald worden. Het unieke van dit instrument ten opzichte van klassiekere stromingsinstrumenten – waaronder als bekendste de Pitot-buis – is dat het dunne draadje erg klein kan zijn – dus op kleine ruimtelijke schaal kan meten, en dat het vanwege z'n eigen geringe warmtecapaciteit heel snel reageert op snelheidsvariaties, en zodoende ook op kleine tijdsschaal kan meten. Burgers' metingen aan intermittentie in grenslaagstromingen (de stroming gaat niet eenvoudigweg over van laminair naar turbulent, maar doet dat op een bijzonder complexe wijze, waarbij de stroming een deel van de tijd laminair, een deel turbulent is) zijn wereldwijd leidend geweest voor zowel grenslaag onderzoek als voor veel andere intermitterende fysische processen.



Figuur 1 | De gloeidraad in een robuuste houder. De stelschroef net vóór het draadeinde is er om de – verwarmd sterk uitgezette – draad netjes recht te trekken.

Ontwikkelingen

Met deze gloeidraad probe was de meetmethode zeker niet 'af'. Een aantal lijnen daarin is:

Registratie

In de beginjaren was met name het vastleggen van het signaal problematisch. Waar een tijdsgemiddelde of eventueel een standaarddeviatie van een grootheid nog met een galvanometer te bepalen is, wordt het vastleggen van een (snel) fluctuerend signaal veel lastiger. In honderd jaar is er veel veranderd; van het fotograferen van een oscilloscoop-signaal, via penschrijvers (in beide gevallen werd de signaalanalyse wellicht uitgevoerd met de mechanische Fourier analyser in het Laboratorium)

naar uiteindelijk pas vanaf de tachtiger jaren van de vorige eeuw het daadwerkelijk beschikbaar komen van Analoog-Digitaal-converters waarmee het signaal op een relevante frequentie (al snel boven de 10 kHz) bemonsterd kan worden – en de computer eenvoudig een heel spectrum berekent van het signaal.

Constructie van probe en draad

Materiaalkundige ontwikkelingen zijn enorm van belang geweest voor het verbeteren van de probes. Bij de eerste exemplaren zitten de metalen componenten nog met ebonieten of porseleinen blokjes als stevige maar isolerende elementen aan elkaar. Bakeliet en later andere kunststoffen gaven nieuwe mogelijkheden voor veel fijnere bewerkingen en constructie. Omdat de draden nou eenmaal vaker kapot gaan dan de rest van de probe werd er al snel overgeschakeld op een systeem van een mechanisch sterke probehouder voor montage met de buitenwereld en kabels naar de meetbrug, en een nog altijd relatief fragiele maar snel verwisselbare insteekprobe voor de laatste paar centimeters richting de uiteindelijke draad of draden. Op één van de foto's ziet u een in het Laboratorium vervaardigde kruisdraadprobe met twee draden. In latere draden werd de dunne (moderne 'standaard' draden zijn nog maar zo'n 10 micrometer dik) elektrolytisch verdikt met een laagje goud om zodoende het windgevoelige stukje draad terug te brengen tot – typisch – nog maar 1 of 0.5 mm lengte. In de zeventiger en tachtiger jaren had het Laboratorium naast een gewone werkplaats een eigen instrumentmakerij voor al het onontbeerlijke materieel 'kleiner dan 2 mm'. Ook de industrie liet zich niet onbetuigd. Diverse op stromingsleer gespecialiseerde bedrijven hebben ontwikkeling, productie en standaardisatie op zich genomen. Ook de binnen het Laboratorium gebruikte probes, houders en meetbruggen worden tegenwoordig gewoon gekocht.

Figuur 2 | Kruisdraadprobe uit de jaren '60.

Figuur 3 | De laatste (vierdraads-) probe van het Laboratorium.

Meetprincipe

De eerste draden zoals boven beschreven werden gebruikt in een 'Constant Current-Anemometer' (CCA); de elektronica, een (zeer eenvoudige) meetbrug, stuurde onafhankelijk van de weerstand een constante stroom door de draad. Niet alleen brandden de draden gemakkelijk door als de windsnelheid (dus de koeling) te laag werd (de naam gloeidraad is niet toevallig gekozen), maar belangrijker is de nog altijd beperkte frequentierespons tot een paar honderd Hz. Met de door M. Ziegler in de veertiger

en vijftiger jaren ontwikkelde 'Constant Temperature Anemometer' (CTA) werd in een feedback-lus juist de elektrische weerstand – dus de temperatuur – van de draad constant gehouden door de elektrische stroom te regelen en die te meten. Doordat de thermische inertie nu niet meer begrenzend is, wordt de frequentierespons veel hoger, en is 20kHz of hoger goed haalbaar. Dit was ook nodig, want theoretisch werk door Kolmogorov in 1941 (nu meestal kortweg K41-theorie genoemd) had inmiddels laten zien hóe klein die turbulentie wel niet kon worden.

Snelheidsmeting

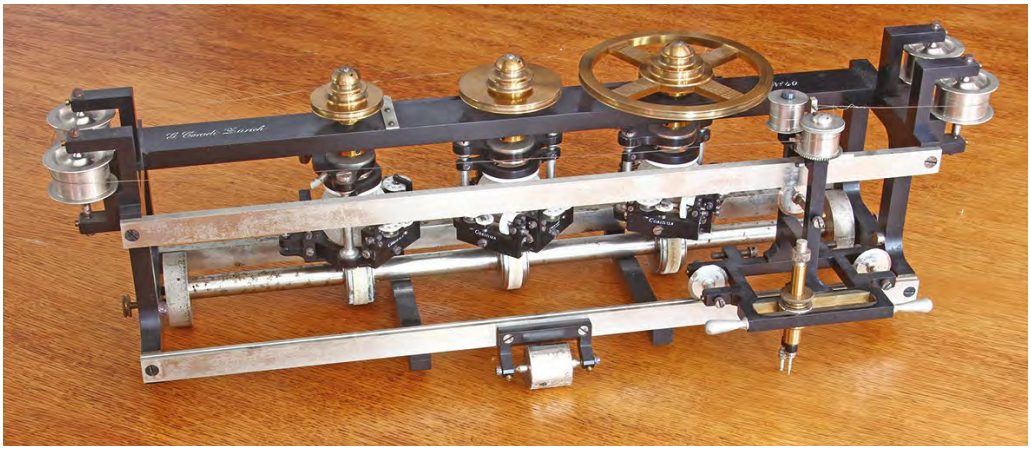
Een enkele gloeidraad is met name gevoelig voor de windsnelheid loodrecht op de draadrichting, maar kan verder geen onderscheid maken in de richting waaruit die wind komt. Alleen bij lage turbulentie-intensiteiten kan je bij benadering de fluctuaties in de richting van de gemiddelde stroming meten, maar de andere componenten geheel niet. Dat oplossend vermogen kan met meerdere draden in verschillende oriëntaties verbeterd worden, en met name de kruisdraad bestaande uit twee draden is erg populair geworden. Hiermee kan namelijk niet alleen één component loodrecht op de gemiddelde wind gemeten worden, maar ook de zogenaamde Reynolds-spanning, 'het gemiddelde product van twee fluctuerende componenten', of minder technisch de wrijving die de turbulentie ter plekke in de stroming veroorzaakt. Diverse configuraties van meerdraadsprobes zijn er ontwikkeld (2- en 3-draadsprobes staan gewoon in de catalogus van leveranciers) met elk een toepassing voor het meten van een specifieke turbulentiegrootheid. Ook de signaalanalyse (kalibreren en ontrafelen in componenten) is goed beschreven [6].

De laatste gloeidraad

Veel technieken zijn geperfectioneerd tegen de tijd dat ze achterhaald zijn; de grammofoon met diamanten naald en tangentiaal-arm, of de typemachine met Daisywheel en tweekleuren- en correctielint. De laatste in Delft ontwikkelde probe – in de laatste foto – is een geminiaturiseerde vierdraadsprobe ontwikkeld tot 1994, waarbij in een 1,5 mm stalen capillair acht naaldvormig geëtste wolfraamdraden elk in een teflon isolatiemantel middels vier stuks opgelaste draden (en daar hoort nog meer hightech vervaardiging bij) in principe op één punt alle drie snelheidscomponenten kunnen meten met een respons van zo'n 50 kHz. In de ultieme uitvoering van deze probe worden er vijf van deze sub-probes in een kruis gemonteerd, waardoor - met 20 draden - ook nog eens álle ruimtelijke eerste en tweede afgeleiden van de snelheid gemeten worden. Het geheel omringd door nog vier temperatuur-sensordraden. En dat is pas voldoende om in atmosferische turbulentie écht tot op de kleinste turbulentieschaal te meten. Een machtig instrument voor het fundamentele turbulentieonderzoek. De enorme complexiteit van deze probe (zowel de kalibratie als de mechanische stabiliteit; van de 24 draden was er altijd wel ééntje onbetrouwbaar) is dusdanig dat het slechts in een enkele geval tot een korte meting is gekomen [3].

Sinds eind jaren tachtig wordt er in het Laboratorium gewerkt aan de ontwikkeling van Particle Image Velocimetry (PIV). Met behulp van een laser en een camera wordt van een tweedimensionaal 'plakje' lucht of water meteen het hele tweedimensionale snelheidsveld gemeten. Met meerdere camera's worden óf alle drie snelheidscomponenten in een plakje (Stereo-PIV), of zelfs in een heel ruimtelijk

volume (Tomo-PIV) vastgelegd – iets waar we ten tijde van die 24-draads probe nog nauwelijks van durfden dromen. Op het moment van schrijven doet ook de industrie al snel 'even een PIV-meting' om een complexe stroming te analyseren, want net als bij de gloeidraad is een groot deel van het proces door gespecialiseerde bedrijven overgenomen. Techniek en geschiedenis van PIV zijn ruim beschreven in [1].



Figuur 4 | Mechanische Fourier-analyser uit 1936 om een complex signaal in (hier maximaal negen) sinussen en cosinussen te ontbinden.

Figuur 5 | Portret van de befaamde vloeistof mechanicus prof.dr.ir. J.M. Burgers. Hoogleraar al op 23 -jarige leeftijd. Op deze foto 29 jaar.

Het zeepvlies analogon voor experimentele spanningsanalyse

P. Meijers en P.Th.L.M. van Woerkom

De achtergrond

Met de overgang van de Polytechnische School naar de Technische Hoogeschool in 1905 werd ook binnen de destijdse *Afdeling der Werktuigbouwkunde en Scheepsbouwkunde* de behoefte en de noodzaak gevoeld om haar onderwijs en onderzoek naar een hoger wetenschappelijk niveau te tillen. Nieuwe hoogleraren werden benoemd, een enkeling zelfs nog buitengewoon jeugdig. In het bijzonder in 1914 de toen nog 26-jarige ir. C.B. Biezeno en in 1918 de toen nog 23-jarige drs. J.M. Burgers. Beide hoogleraren zouden zeer spoedig een wereldwijde faam verwerven: Biezeno op het gebied van de mechanica van de vaste stof en Burgers op het gebied van met name de mechanica van vloeistoffen [1].

Biezeno verwierf de titel van werktuigbouwkundig ingenieur met lof in 1909. Daarbij was zijn interesse voornamelijk gericht op theoretische en numerieke analyse van de vervorming en de dynamica van constructies. Hij karakteriseerde zijn vakgebied als dat van de 'technische dynamica' [3]. De ontwikkeling van dat gebied heeft hij met energie begeleid en gestimuleerd.

Om de wiskundige modellering en de numeriek verkregen resultaten te kunnen toetsen aan de werkelijkheid was hij ook een groot voorstander van de opbouw van een laboratorium voor toegepaste mechanica, gericht op onderzoek van statische spannings- en vervormingsproblemen. Zijn eerste promovendus en latere collega J.J. Koch was de stuwende kracht achter de opbouw van het Laboratorium voor Toegepaste Mechanica (LTM), steeds in nauwe samenwerking met Biezeno. Theorie, toetsing en industriële toepassing was het motto van het LTM. Niettemin kwam het LTM in het destijdse Afdelingsgebouw aan de Nieuwe Laan in de jaren 1920-1930 door een nijpend plaatsgebrek en door grote bezuinigingen van regeringszijde slechts moeizaam op gang. In 1931 kon Biezeno rapporteren dat eindelijk begonnen kon worden met "de aanschaffing van voor het onderwijs nuttige demonstratiemodellen en met het verrichten van eenig experimenteel werk".

Een van de eerste en destijds internationaal belangwekkende instrumenten in gebruik bij het LTM was het zeepvlies analogon, ontworpen door Biezeno en Rademaker [4] en gebouwd door de firma G. de Koningh te Arnhem. Het werd in gebruik genomen in 1930 [7].

De analogie

Het zeepvlies analogon werd ontworpen om de schuifspanningsverdeling te bepalen in een gewrongen (getordeerde) prismatische staaf. Men kan hierbij vooral denken aan staven en buizen met diverse gecompliceerde doorsneden, aan aandrijfassen, aan spoorstaven en aan schoepen van turbines.

In 1903 wees Prandtl voor het eerst op de wiskundige relatie tussen enerzijds schuifspanningen in de dwarsdoorsnede van een prismatische staaf en anderzijds de vorm van een zeepvlies dat is opgespannen over een opening met *dezelfde* contour als die van de staaf [6]. In beide gevallen wordt de wiskundige beschrijving gegeven door de algemene Poissonvergelijking. Dit is een partiële differentiaalvergelijking met een zogenaamde excitatieterm. In het geval van de gewrongen prismatische staaf is de excitatieterm een functie van de wringhoek per lengte eenheid en van de glijdingsmodulus van het materiaal (een maat voor de materiaalweerstand). De oplossing van de differentiaalvergelijking beschrijft het schuifspanningsveld in de dwarsdoorsnede van de staaf. In het geval van het zeepvlies is de excitatieterm een functie van de spanning in het vlies en van de overdruk tussen beide zijden van het vlies, en de oplossing van de differentiaalvergelijking beschrijft de uitstulping van het oppervlak van het zeepvlies.

Door een zeepvlies op de juiste wijze op te spannen over een gat met dezelfde vorm als de omtrek van de staaf en van een overdruk te voorzien, kan men uit meting van de hellingshoek van het zeepvliesoppervlak de schuifspanningen in de dwarsdoorsnede van de staaf afleiden. Andere grootheden kunnen eveneens worden bepaald [3, 4, 6].

Het instrument

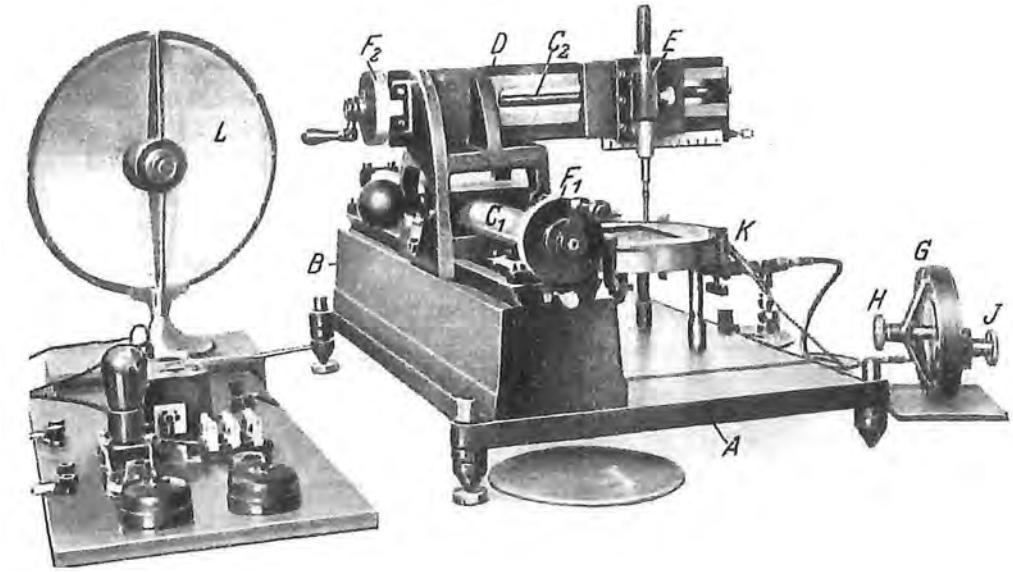
De essentie van het apparaat is [3, 4] dat het de verticale verplaatsing (x-richting) van het door luchtdruk belaste zeepvlies opmeet. Het gaat in principe om een zeer nauwkeurige y-z tafel, waarbij (zie figuur 1) een kruk F_1 de verplaatsing van het opnamepunt in de y-richting beweegt en kruk F_2 de aftaster in de z-richting beweegt. Met de aftaster E wordt dan de uitstulping van het zeepvlies in x-richting bepaald, voor gegeven y- en z-coördinaten. De positie van de aftastnaald kan op 1/100 mm nauwkeurig worden ingesteld en op 1/1000 mm nauwkeurig worden geschat.

Het zeepvliestafeltje onder de aftaster staat op drie poten opgesteld. Over de opening in het tafeltje wordt een zeepvlies getrokken. De luchtdruk in de ruimte onder het zeepvlies wordt met hoge precisie ingesteld door middel van een externe luchtruimte G met indrukbare wanden.

Om te zorgen dat de aftaster het zeepvlies niet kapot prikt wordt een elektrisch signaal naar een luidspreker L gestuurd zodra de aftaster het zeepvlies raakt (figuur 1, links). De analist wordt aldus gewaarschuwd. Niettemin kan het zeepvlies sneuvelen; het opmeten vereist dan ook zeer veel inspanning. Bij breuk van het vlies moet een nieuw vlies worden opgespannen; al met al tijdrovend werk. De groep van Biezeno gebruikte daarom in een later stadium een dun voorgespannen

rubbervlies in plaats van een zeepvlies. Het rubbervlies werd in de deksel van een geheel met water gevulde bak geplaatst. Door de waterdruk in de bak te verminderen zakt het vlies. De ontstane holte werd vervolgens met vloeibaar gips van bovenaf gevuld (gips heeft een met water vergelijkbaar soortelijk gewicht). Na uitharding van het gips kon de analist in eigen tempo de metingen aan het gipsoppervlak uitvoeren. Niettemin vereisten voorbereiding en opmetingen nog steeds veel ervaring en inspanning van de analist.

De nauwkeurigheid van het meetsysteem werd onder meer bepaald door metingen te verrichten aan prismatische staven met doorsneden waarvoor ook analytische oplossingen beschikbaar waren.



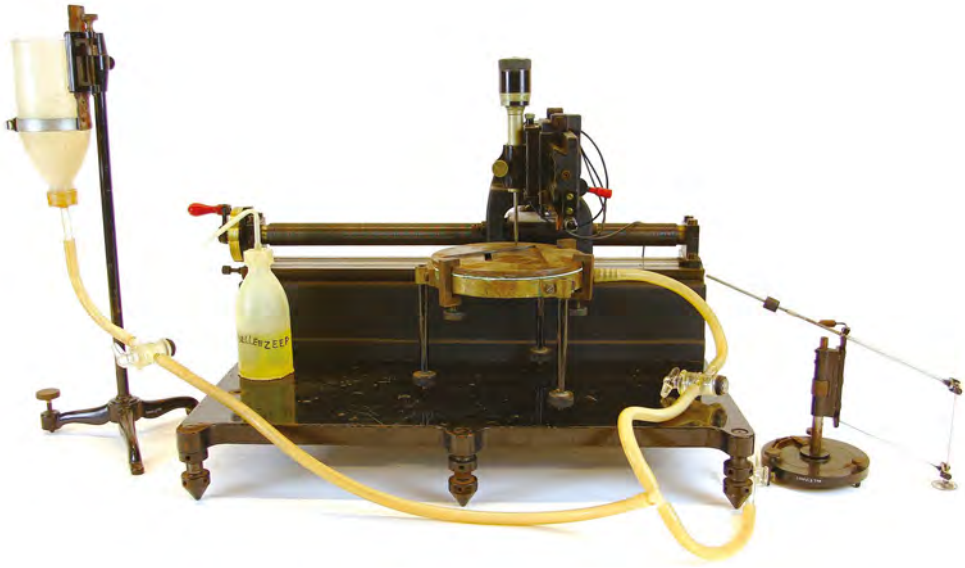
Figuur 1 | Componenten van het zeepvlies analogon. Rechts het zeepvliesinstrument met aftaster E, links de detectie-elektronica met luidspreker L [3].

Informatie uit de metingen

Samenvattend kan men de volgende informatie uit de metingen verkrijgen [3, 4, 6]:

- de schuifspanningscomponenten worden bepaald door de helling van het oppervlak;
- het totale wringmoment is evenredig met de inhoud van de zeepvlies uitstulping;
- door een tweede zeepvlies op te spannen, maar nu met cirkelvormige rand, en belast door de zelfde overdruk, kan men de numerieke waarde van de excitatieterm in de Poissonvergelijking bepalen.

Tenslotte wijzen wij erop dat het zeepvliesanalogon ook kan worden gebruikt voor het bepalen van schuifspanningen in meervoudig samenhangende doorsneden (staven met parallelle holle ruimtes). Echter, heeft men te maken met een profiel met twee of meer holle ruimtes, dan wordt het gebruik van het analogon minder praktisch.



Figuur 2 | Het zeepvlies analogon in de TUD academische erfgoed collectie.

Maatschappelijk belang

Was men vóór de vorming van de Technische Hoogeschool in 1905 niet wars van enig natte-vingerwerk bij het ontwerpen van constructies, met de komst van de wiskundig zeer begaafde Biezeno en met de door hem in gang gezette opbouw van een laboratorium voor experimenteel mechanisch onderzoek kan men waarlijk spreken van het begin van verwetenschappelijking van onderwijs en onderzoek in zijn afdeling (nu 'faculteit'). Het destijds als zeer nauwkeurig ervaren zeepvliesanalogon was een topproduct uit zijn laboratorium.

Het gebruik van de analogie tussen schuifspanningen in een prismatische staaf, en de uitstulping van een zeepvlies, heeft met name in Duitsland – bakermat van veel fundamenteel mechanicaonderzoek - in de jaren dertig tot veel navolging geleid.

Terugblik

Het zeepvlies analogon was een der eerste en bovendien zeer geavanceerde instrumenten in Biezeno's Laboratorium voor Toegepaste Mechanica (LTM). Het LTM werd formeel eerst in 1929 ingericht met als doel onderzoekingen over spanningsverdeling in verschillende materialen en in constructies of onderdelen daarvan mogelijk te maken. Het werd in die tijd ondergebracht in het majestueuze gebouw voor Werktuig- en Scheepsbouwkunde aan de Nieuwe Laan en deels in een vertrek van het laboratorium voor Aero- en Hydrodynamica elders in het gebouwencomplex. Het TH gedenkboek 1905 - 1930 [7] geeft een beschrijving van een aantal in die tijd geavanceerde LTM faciliteiten: trekbank,

Mesnager-Coker optisch systeem, Beggs systeem met gebruik van meerdere Zeiss microscopen, het hierboven beschreven zeepvlies analogon, en een variant daarvan. Het LTM werd aangestuurd door Biezeno de theoreticus en Koch de experimentator. De twee vormden een onafscheidelijk en bijzonder productief team.

In het Biezeno Liber Amicorum uit 1953 [5] wordt de stand van zaken binnen het LTM beschreven. In de periode 1929-1944 wordt het laboratorium geleidelijk uitgebreid. Vanwege beperkte fondsen werd eigen apparatuur ontwikkeld. Ook het zeepvliesanalogon werd gebruikt, onder andere voor onderzoek ter ondersteuning van het NLL (Nationaal Luchtvaart Laboratorium, nu NLR, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium). Een elektrisch analogon vond eveneens toepassing. In de periode 1944-1945 lag het werk stil vanwege gebrek aan elektriciteit en verwarming en vanwege plundering door de bezetter. Vanaf 1945 groeide het LTM snel in omvang en in veelzijdigheid. Het Biezeno Liber Amicorum geeft een beschrijving van de toen meest belangrijke systemen.

In een gedetailleerde beschrijving van de stand van zaken in 1961 [2] memoreren de auteurs eerst de ontwikkeling van het LTM in de periode 1929-1955. Met de verhuizing van de gehele Afdeling der Werktuigbouwkunde en Scheepsbouwkunde naar haar nieuwe onderkomen aan de Mekelweg 2 in 1956 kreeg het LTM een geheel nieuw en vergroot laboratorium ter beschikking. Veel praktijkvraagstukken op sterktegebied in de industrie konden nu energiek ter hand worden genomen. De reeds in 1949 gevormde TNO Werkgroep Spannings- en Trillingsonderzoek onder leiding van Biezeno en Koch werd in 1954 gepromoveerd tot het nieuwe TNO Instituut voor Werktuigkundige Constructies (TNO-IWECO). De naam 'Laboratorium voor Toegepaste Mechanica' werd gewijzigd in 'Laboratorium voor Technische Mechanica' om zo uiting te geven aan de toegenomen aandacht voor dynamica onderzoek in het LTM. De auteurs verklaren dat het LTM "zich kan meten met de beste mechanicalaboratoria in het buitenland en [*het*] is een voorbeeld van wat met toewijding en inventiviteit in goede menselijke samenwerking in veertig jaren [*de periode 1929 - 1961*] tot stand kan worden gebracht" [2].

Het zeepvlies analogon heeft vele jaren lang een waardevolle rol gespeeld in deze ontwikkeling, en werd in latere jaren een stille getuige daarvan. Het wordt nu gekoesterd in de TUD-erfgoedcollectie.

Figuur 3 | In steen gehouwen plaquette met portret van prof.dr.ir. C.B. Biezeno, wetenschapper op het gebied van de vaste stof mechanica. Met zijn collega prof. J.M. Burgers oogsten zij mondiale faam op het brede gebied van de mechanica.

LITERATUUR

AARDOOM, L.

[1] Aardoom, L. "Het zonneprisma van Roelofs: de zon aanmeetbaar als een ster", *De Hollandse Cirkel* 17 nr. 4, december 2015, pp. 140-145.

[2] Aardoom, L. "Cornelis Johannes van Leeuwen (1917-1994), fabrikant van speciale instrumenten", *De Hollandse Cirkel* 18 nr. 1, maart 2016, pp. 8-16.

[3] de Hilster, N. "Het zonneprisma van Roelofs: aanvullend - desnoods kritisch - commentaar", *De Hollandse Cirkel* 18 nr. 1, maart 2016, pp. 2-7.

[4] Roelofs, R. *Astronomy applied to land surveying*, Wed. J. Ahrend, Amsterdam, 1950.

AARDOOM, L. en K.F. WAKKER

[1] Aardoom, L. *Satellietgeodesie in Nederland, 1960-2000. Opstap naar en partner in Delfts aardgericht ruimteonderzoek.* Geodetisch-Historische Monografieën Nr. 1, Stichting De Hollandse Cirkel, 2012.

[2] Aardoom, L. en K.F. Wakker. 'De Nederlandse deelname aan NASA's Crustal Dynamics Project.' *Ruimtevaart*, Vol. 33, december 1984: pp. 215-224.

[3] Havens, W.H., H. Visser en F.W. Zeeman. 'A design description of the satellite ranging station at Kootwijk.' *Acta Astronautica*, 1975: pp. 891-895.

[4] Wakker, K.F., B.A.C. Ambrosius en L. Aardoom. 'Orbit determination and European station positioning from satellite laser ranging.' *J. Geophys. Res.*, Vol. 90, No. B11, September 1985: pp. 9275-9283.

[5] Wakker, K.F., R.C.A. Zandbergen, M.C. Naeije en B.A.C. Ambrosius. 'Geosat altimeter data analysis for the oceans around South Africa.' *J. Geophys. Res.*, Vol. 95, No. C3, March 1990: pp. 2991-3006, 3421.

ANKERSMIT, W. (De spoorbrug Culemborg)

[1] Cremona, L. *Le figure reciproche nella statica grafica* . Milaan, 1872.

[2] Cuperus N.J. en G.P.J. Verbong. "Spoorbruggen". In: Lintsen H.W. (red.) *Geschiedenis van de techniek in Nederland, de wording van een moderne samenleving , 1800-1890, Deel V.* Walburg Pers Zutphen, 1994, pp. 179-201.

[3] Henket,N.H., Ch.M. Schols en J.M. Telders. *Waterbouwkunde in Nederland,* dl 3, afd. XIV, Bruggen. Den Haag, 1888.

[4] Koolhof, G. J. L. *De spoorbrug bij Culemborg (1868-1982).* Culemborg, 1982.

[5] Lutke Schipholt, R. en R. Waalewijn. "De geschiedenis van de spoorbrug bij Culemborg". *Histechnica Nieuws*, no. 19, dec. 1982.

[6] Oosterhoff, J.J. *Bruggen in Nederland 1800-1940, beweegbare bruggen.* Uitg. Nederlandsche Bruggen Stichting, Matrijs,1999.

[7] Scheen, Pieter A. *Lexicon Nederlandse Beeldende Kunstenaars (1750-1950).* Den Haag, 1969.

[8] Veenendaal, A.J., jr. "De spoorbrug bij Culemborg". In : M.L. ten Horn-van Nispen, H.W. Lintsen, A.J. Veenendaal jr. (red.) , *Nederlandse Ingenieurs en hun kunstwerken.* Walburg Pers, Zutphen, 1994, pp. 41-47.

[9] Veenendaal, A.J., jr. "Spoorwegen". In: Lintsen H.W. (red.) *Geschiedenis van de techniek in Nederland, de wording van een moderne samenleving , 1800-1890,* Deel II. Walburg pers Zutphen, 1994, pp. 129-163.

[10] Veenendaal, A.J., jr."Diesen, Gerrit van (1826-1916)". *Biografisch Woordenboek van Nederland*. http://resources.huygens.knaw.nl/bwn/BWN/lemmata/bwn1/diesen

[11] Woud, A. van der. *Het ontstaan van het moderne Nederland.* Bert Bakker, Amsterdam, 2006.

ANKERSMIT, W. (Triaxiaal apparaat)

[1] [1] Coulomb, C.A. *Essai sur une application des règles de maximus et minimus à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture* . Parijs, 1776.

[2] Keverling Buisman, A.S. *Grondmechanica.* Waltman, Delft, 1940.

[3] Keverling Buisman, A.S., jr. *Albert Sybrandus, leven en werk van prof. ir. A.S. Keverling Buisman.* Betatext, 2013.

[4] Mierlo, W.C. van. "40-jarig bestaan Laboratorium voor Grondmechanica". *De Ingenieur*, Vol. 86,nr. 6, 1974, pp. 101-106.

[5] Terzaghi, K. *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage.* Leipzig, 1925.

[6] Verbong, G.P.J. en N.J. Cuperus. "Grondmechanica". In : Lintsen H.W., red., *Geschiedenis van de techniek in Nederland, de wording van een moderne samenleving , 1800-1890, Deel V Techniek, beroep en praktijk*, pp. 159-177. Walburg pers, Zutphen, 1994.

[7] Verruijt A. "Albert Keverling Buisman, Monsters van de ondergrond". In: Wakker K. F. et al., red., *Delfts Goud. Leven en werk van achttien markante hoogleraren*. Technische Universiteit Delft, 2002, pp. 81-91.

[8] Verruijt A. *Grondmechanica*. Technische Universiteit Delft ,2001.

van BEUSEKOM, W.A.

[1] Gebr. Caminada ,*Vijftig jarig bestaan van de fabriek Firma Gebr. Caminada, 1856-1906*. Gebr. Caminada,1906.

[2] Toussaint, H.C. *Uitgemeten en Uitgetekend*, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat nr. 59, 1998.

[3] Waalewijn, A. *Drie Eeuwen Normaal Amsterdams Peil,* Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat nr. 48, 1987.

[4] Wijnterp, P. *De eerste Nauwkeurigheidswaterpassing van Nederland (1875-1885),* Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat (MDTNO-R-9231), 1993.

BOGAERTS, M.J.M.

[1] Bogaerts, M.J.M. *A self-reducing range-finder with an automatic registration system*. Dissertatie, TH Delft, 11 juni 1969.

[2] Beers, B.J. *FRANK: the design of a new land surveying system, using panoramic images*. Dissertatie, TU Delft, 23 oktober 1995.

[3] Bogaerts, M.J.M. *De loopbaan van een zondagskind – 46 jaar in de Delftse Geodesie*. Stichting De Hollandse Cirkel, Delft, 2012. (149 pag.)

DELFOS, R.

[1] Adrian, R.J. en J. Westerweel. *Particle Image Velocimetry*. Cambridge University Press, 2012.

[2] Alkemade, A.J.Q., "Burgers, Johannes Martinus (1895–1981)", in *Biografisch Woordenboek van Nederland*.

[3] Dijk, A. van. *Aliasing in one-point turbulence measurements : theory, DNS and hotwire experiments*. Proefschrift TU Delft, 1999.

[4] Koiter, W.T. "Levensbericht Johannes Martinus Burgers". In: *Jaarboek van de KNAW 1981/82*.

[5] Nieuwstadt, F.T.M. en J.A. Steketee (eds.). *Selected Papers of J.M. Burgers*. Kluwer Academic Publishers, 1995.

[6] Perry, A.E. *Hot-wire anemometry*. Clarendon Press, 1982.

EKKELENKAMP, H.

[1] Alder, K. *The Measure of All Things*, 2002. Nederlandse vertaling: "*De maat van alle dingen*", *de zevenjarige zoektocht naar de universele meter* Uitg. Anthos, 2003.

[2] Bennett, J.A. ,*The Divided Circle. A History of Instruments for Astronomy, Navigation and Surveying*. ,Uitg. Phaidon-Christie's, Oxford, 1987.

[3] Cohen Stuart, L. en F. Kaiser. *De eischen der medewerking aan de ontworpen graadmeting in Midden Europa voor het Koningrijk der Nederlanden*. Amsterdam, 1864.

[4] Haasbroek, N.D. *Investigation of the accuracy of Krayenhoff's triangulation (1802-1811) in Belgium, The Netherlands and a part of North Western Germany.* Uitg. Rijkscommissie voor Geodesie, Delft, 1972.

[5] Kraijenhoff, C.R.T. *Instructie voor de géographische ingenieurs.* Departement van Oorlog, 1808.

[6] Turner, A.J. *From Pleasure and Profit to Science and Security. Etienne Lenoir and the transformation of precision instrument-making in France 1760-1830.* Uitg. The Wipple Museum of the History of Science, Cambridge, 1989.

[7] Turner, G.L.E. *Nineteenth-Century Scientific Instruments.* Uitg. Philip Wilson, 1983.

[8] Uitterhoeve, W. *Cornelis Kraijenhoff 1758-1840, Een loopbaan onder vijf regeervormen*. Uitgeverij Van Tilt, Nijmegen, 2009.

ERTSEN, M.W. en W. ANKERSMIT

[1] Boiten, W. "De Hobrad stuw : regelen en meten van debieten". *PT/Civiele Techniek*, 42(1), 1987, pp. 51-57.

[2] Ertsen, M.W. *Locales of happiness. Colonial irrigation in the Netherlands East Indies and its remains, 1830-1980.* VSSD Press, Delft, 2010.

[3] Ertsen, M.W. "Een beter systeem is later nooit gevonden. De opleiding tot irrigatie-ingenieur aan de Technische Hogeschool in Delft, 1850-1980". *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis*, 20, 2011.

[4] Ertsen, M.W. "Waardig voortbouwen in de aangegeven richting. Ontwikkeling en voortbestaan van een Nederlands–Indische irrigatiebenadering". *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis* , 17, 2008.

[5] Ravesteijn, W. en J. Kop (eds.), *For profit and prosperity. The contribution made by Dutch engineers to Public Works in Indonesia 1800-2000.* Aprilis, Zaltbommel, KITLV, Leiden, 2008.

[6] Ravesteijn, W. en J. Kop (eds.), *Bouwen in de archipel. Burgerlijke openbare werken in Nederlands-Indië en Indonesië 1800-2000.* Walburg, Zutphen, 2004.

[7] Romijn, D.G. "Een regelbare meetoverlaat als tertiaire aftapsluis". *De Waterstaatsingenieur*, 20, 1932, pp. 287-292.

HARTMANN, Dap

[1] Hartmann, Dap. "De lange weg naar snelle protonen". *Delft Integraal*, Vol. 19, No. 1, 2003, pp. 18-21.

HEIJMANS, H.G. (Max Planck medaille)

[1] Casimir, H.B.G. "Ralph Kronig, 10 maart 1904-16 november 1995". In: *Levensberichten en herdenkingen 1996*. Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen, Amsterdam, 1996, pp. 55-60.

[2] Kokkedee, J.J.J. "Ralph Kronig - Een alpinist in de quantummechanica". In K.F. Wakker et al. (ed.). *Delfts Goud; leven en werk van achttien markante hoogleraren* .Technische Universiteit Delft, 2002, pp. 152-165.

[3] Kronig, R. "The Turning Point". In: M. Fierz en V.F. Weisskopf, eds., *Theoretical Physics in the Twentieth Century; A Memorial Volume to Wolfgang Pauli*. Interscience Publishers, New York,1960.

[4] "Kronig's anticipation of the spin hypothesis". In E. Rüdinger (ed.) *Niels Bohr Collected Works, Volume 5, K. Stolzenburg (ed.) The Emergence of Quantum Mechanics (Mainly 1924-1926)* Amsterdam, 1984, pp. 232-237.

[5] Bron: *Physikalische Blätter*, Vol. 18, nr 11, 1962, p. 517.

[6] Bron: https://www.lorentz.leidenuniv.nl/history/Fermi/Fermi.html d.d. 22 januari 2016.

HEIJMANS, H.G. (Wieg van de TU Delft)

(Geen)

HEIJMANS, H.G. en W. ANKERSMIT

[1] Anoniem. *Notice Biographique sur Antoine Lipkens.* Leopold Loebenberg, Den Haag, 1848.

[2] Baudet, H. *De lange weg naar de Technische Universiteit Delft.* Den Haag, 1992, pp. 145-150.

[3] Heynen, Ch. *Wereldschokkende uitvindingen – of juist niet. Deze week: de voorlopers van de iPhones en iPads.* NRC 14-08-2016.

[4] Korving, R. en B. van der Herten. *Een tijding met de snelheid des bliksems : de optische telegraaf in de Nederlanden (1800-1850)*, 1997.

[5] Lintsen, H.W., *Geschiedenis van de Techniek in Nederland, Deel IV De wording van een moderne samenleving 1800-1890. – Delfstoffen, machine- en scheepsbouw. Stoom. Chemie. Telegrafie en telefonie*. Walburg Pers, Zutphen, 1993. http://www.dbnl.org/tekst/lint011gesc04_01/lint011gesc04_01_0014.php

[6] Pieters, H. *Uitvinders in Nederland , Vier eeuwen octrooien* .Nationaal Archief, Den Haag, 2009, pp. 64-68.

[7] Staring, W.C.A. "De optische telegrafen in Nederland", in: *Tijdschrift van het koninklijk genootschap van ingenieurs* , 1890, pp. 279-285.

van den HOVEN, M.J.

[1] Delftsche Studenten Raad. *Gedenkboek van het verzet der Delftsche studenten en docenten gedurende de jaren 1940-1945*. Delftsche Uitgevers Maatschappij, 1947. (222 pag.).

[2] Delftsche Studentenraad. *Geschiedenis van het Delftsche Studentencontact*. Drukkerij Waltman, Delft, 1947. (110 pag. en uitvouw pagina.).

[3] Hageman, R. en W.T.H. Rogge. *Op Herhaling*. Technische Universiteit Delft, 2006. (96 pag.).

[4] Sinke, O. *Loyaliteit in Verdrukking – de Technische Hogeschool Delft tijdens de bezetting*. Uitgeverij Boom, Amsterdam, 2012. (264 pag.).

[5] van Woerkom,. P.Th.L.M. "Deskundig, heldhaftig en vergeten. De V2 en het dubbelleven van prof. J.W.H. Uytenbogaart". *Delft Integraal*, 2004-2, pp. 26-31.

van INGEN, J.L. en L.L.M. VELDHUIS

[1] Biesboer, F. "Zuinig en zachtjes". *De Ingenieur*, Vol. 128, No. 8, augustus 2016, pp. 14-17.

[2] van der Bliek, J.A. *75 years of Aerospace Research in The Netherlands*. National Aerospace Laboratory NLR, Amsterdam, 1994.

[3] Dobbinga, E. en J.A. van Ghesel Grothe. "De Lage Snelheids Windtunnel van de sub-afd. Vliegtuigbouwkunde der Technische Hogeschool". *De Ingenieur*, nr. 38, 1955, blz-A 461-A475.

[4] Elsenaar, A. *50 Years High Speed Wind Tunnel Testing in The Netherlands*. Foundation Historical Museum NLR, Amsterdam, 2012.

[5] van Ghesel Grothe, J.A., J.A. Jongenelen, R.G.A. Kuipers, G.J.J. Ruijgrok en H.H.E.J. de Wit. *Vijftig Jaar "Vliegtuigbouwkunde" in Delft*. Delftse Universitaire Pers, 1990.

[6] van Ingen, J.L. "Ludwig Prandtl and Early Fluid Dynamics in The Netherlands". In: *Ludwig Prandtl, ein Führer in der Strömungslehre*. G.E. Meier, ed. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 2000, pp. 219 - 239.

[7] van der Neut, A. "De studie voor vliegtuigbouwkundig ingenieur". *AVIA*, december 1962, 11e Jaargang, nr 13, pp. 636 -639.

[8] de Vries, M. *Negen Pioniersverhalen – 75 Years Aerospace Engineering TU Delft*. Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek, TU Delft, december 2015.

[9] Kamp, A.F., redacteur. *De Technische Hogeschool te Delft 1905-1955*. Staatsdrukkerij- en Uitgeverijbedrijf te 's Gravenhage, 1955.

[10] Beeldbank van de TU Delft Library.

JACOBS, J.J.

(Geen)

KRUIT, P.

[1] Kruit, P. en D.J.J. Kool-Tijssen. "Jan Bart Le Poole - van meter tot micron". In: *Delfts Goud, leven en werk van achttien markante hoogleraren*, K.F. Wakker et al., redactie, TU Delft, 2002, pp. 250-263.

[2] Mulvey, T. en D.J.J. van de Laak-Tijssen. "Jan Bart LePoole, Pioneer of the Electron Microscope and Particle Optics". *Advances in Imaging Science and Electron Physics*, vol.115, 2001, pp. 287-354.

[3] N.V. Philips. "EM300 Electron Microscope", brochure 1966.

[4] Le Poole, J.B. *Some designs in electron and ion optics*. Promotie aan de TH Delft, met lof, op 6 oktober 1954.

LAGERS, G.

[1] Vugts, J.H. *In woelig water.* Intreerede, TU Delft, 1993.

[2] Vugts, J.H. *Ter zee, te land en in de lucht.* Afscheidsrede, TU Delft, 2001.

[3] Meek, J. *Ongekend.* Intreerede, TU Delft, 2002.

[4] Ping Liu. *Dynamics of Elevated Jack-up Structures.* Dissertatie, TU Delft, 1991.

MANDERS, B.

[1] Atjak, M.G. *De mariene ertsmijnbouw in perspectief*. Openbare les gegeven bij de aanvaarding van het ambt van lector etc., Technische Hogeschool Delft, 19 november 1975. Delftse Universitaire Pers, 1975.

[2] de Clercq, S. *Johannes Evert Hendrik Akkeringa, schilder van het onbezorgde leven*. Uitgeverij Scriptum, Schiedam, 2010.

[3] Grutterink, J. A. *Rede ter na-gedachtenis van Professor C. J. van Loon, m. i.* (met portret), uitgesproken te Delft op 28 September 1915. Jaarboek 1914/15 van de Mijnbouwkundige Vereeniging te Delft, 's-Gravenhage, 1915, pp. 23-37.

[4] Manders, B. *De ontdekking van Tin op het eiland Billiton.* KIT Publishers, 2010.

[5] Menten, J.H. *Het boren en het boormateriaal Bangka*. In: Jaarboek van het Mijnwezen Nederlandse Oost-Indië, derde jaargang, tweede deel, 1874.

van der MEER, M.J.M.

[1] *Bestek en Voorwaarden wegens het maken van een gebouw voor Mijnbouwkunde op een terrein achter den Kanaalweg in den Wippolder te Delft*. Ministerie van Binnenlandsche Zaken, 1910.

[2] *Eeuwboek van de Mijnbouwkundige Vereeniging te Delft 1892 – 1992*. Delft, Mijnbouwkundige Vereeniging, 1992.

[3] *Jubileumboek 1992-2012*. Delft, Mijnbouwkundige Vereeniging, 2012.

[4] Macel, O., I. Schutten en J. Wegner. *Architectuur-archief Technische Universiteit Delft*. Delft, Publikatieburo Bouwkunde, Delft, 1994.

[5] Sinke, O. *Loyaliteit in Verdrukking. De Technische Hogeschool Delft tijdens de bezetting*. Boom, 2012.

[6] Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, april 1912.

[7] Westendorp, F., H.S. Hallo en T.K.L. Sluyterman,. red. *De Technische Hoogeschool te Delft, van 1905 tot 1930. Gedenkboek*. Delft, J. Waltman, Delft, 1930.

MEIJERS, P. en P.Th.L.M. van WOERKOM

[1] Alberts, G. *Jaren van Berekening. Toepassingsgerichte initiatieven in de Nederlandse wiskundebeoefening 1945-1960*. Amsterdam University Press, 1998. Zie daarin Sectie 6.2 'De onderwereld van Biezeno', pp. 308-326.

[2] Besseling, J.F. en J.J.P. Geerlings. 'Het Laboratorium voor Technische Mechanica van de Afdeling der Werktuigbouwkunde van de TH Delft'. *De Ingenieur*, Vol. 73, No. 22, 2 juni 1961, pp. A 320-A 327.

[3] Biezeno, C.B. en R. Grammel. '*Technische Dynamik. Erster Band: Grundlagen und einzelne Maschinenteile*'. Springer-Verlag, Berlin, 1953, pp. 224-235.

[4] Biezeno, C.B. en J.M. Rademaker. 'Het experimenteel bepalen van de schuifspanningsverdeling in de dwarsdoorsnede van een gewrongen prismatische staaf'. *De Ingenieur*, Vol. 46, No. 52, 24 december 1931, pp. W 135-W 197.

[5] Koch, J.J. 'The Laboratory for Applied Mechanics at the Technological University Delft'. In: *Anniversary Volume on Applied Mechanics, dedicated to C.B. Biezeno by some of his friends and former students on the occasion of his sixty-fifth birthday*. J.J. Koch, W.T. Koiter, R.J. Legger en A. van der Neut, redactie. Haarlem, N.V. De Technische Uitgeverij H. Stam, 1953, pp. 298-303.

[6] Prandtl, L., 'Eine neue Darstellung der Torsionsspannungen bei prismatischen Stäben von beliebigem Querschnitt'. *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, Vol. 13, 1904, pp. 31-36.

[7] Westendorp, F., H.S. Hallo en T.K.L. Sluyterman. *De Technische Hoogeschool te Delft van 1905 tot 1930*. Waltman, Delft, 1930, p. 68.

MOOIJ, J.E.

[1] Wassink, J. "Groot in nano". *Delft Integraal*, Vol. 31, No. 1, maart 2014, pp. 24-26.

MULDER, J.A.

[1] Baarspul, M. 'A review of Flight Simulation Techniques'. *Prog. Aerospace Sci.*, Vol. 27, pp. 1-120, 1990.

[2] Sieberling, S., Q.P. Chu en J.A. Mulder. 'Robust Flight Control Using Incremental Nonlinear Dynamic Inversion and Angular Acceleration Prediction'. *Journal of Guidance Control and Dynamics* 33(6), November 2010.

[3] Stroosma, O., R. van Paassen en M. Mulder. 'Using the SIMONA Research Simulator for Human-Machine Interaction Research', Conference Paper AIAA 2003-5525, AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, 11-14 August 2003, Austin, Texas.

OLSDER, G.J. (Testudo)

[1] Alberts, G. en B. van Vlijmen. *Computerpioniers – het begin van het computertijdperk in Nederland*. Amsterdam University Press B.V., Amsterdam, 2017.

[2] Looijen, M. *Grepen uit de geschiedenis van de automatisering*. Kluwer Bedrijfswetenschappen, Deventer, 1992.

[3] van der Poel, W.L. "Evolution of the Zebra". In: Computer RESURRECTION. *The Bulletin of the Computer Conservation Society*, ISSN 0958 – 7403, number 16, Christmas 1996.

[4] van der Poel, W.L. "Micro-programming and Trickology". In: *Digitale Informations Wandler*, herausgegeben von Walter Holffmann unter Mitwirkung von 25 Fachautoren, Vieweg, Braunschweig, 1962, pp. 269-311.

[5] Pronk, C. et al. *Vooruitgang bit voor bit*. Liber Amicorum ad Collegarum bij het afscheid van prof.dr.ir. W.L. van der Poel, 26 oktober 1988. Delftse Universitaire Pers, 1988.

[6] Verhagen, E. *Geheugentrommels – de ontwikkeling van de eerste computers in Nederland*. Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI), Amsterdam, 2016.

PETERS, J.A. en H. van BEKKUM

[1] Ramsay, O.B. 'Why did Adolf Baeyer propose a planar, strained cyclohexane ring?' *J. Chem. Educ.* 54 (9) (1977): p. 563.

[2] Derx, H.G. *Bijdrage tot de Kennis van den Ruimtelijken Bouw van Atoomringsystemen*. Delft, Proefschrift, Technische Hoogeschool Delft, 1922.

[3] Böeseken, J. "The use of boric acid for the determination of the configuration of carbohydrates". *Adv. Carbohydr. Chem.* 4 (1949), pp. 189-210.

[4] Peters, J.A. "Interactions between boric acid derivatives and saccharides in aqueous media: Structures and stabilities of resulting esters". *Coord. Chem. Rev.* 268 (2014), pp. 1-22.

ROBERTSON, L.A.

[1] Movie: https://www.youtube.com/watch?v=dvkdcAAKAYU This movie was made using a modern replica of one of the microscopes used by the Father of Microbiology, Anthonie van Leeuwenhoek, in Delft in the 17th century. The replica microscope was made by Hans Loncke. This shows a clump of Vorticella feeding on bacteria. The animals are attached to sediment particles by their spring-like stalks which extend when the animal is ready to feed. When the mouth opens, the cilia around it can be seen beating to generate a vortex that traps the prey (usually bacteria) and carries it into the mouth for digestion.

[2] See also the related article written by Thomas van Dijk, entitled "Fresh light on an old microscope", TU Delta, 29 June 2011 (http://bit.ly/khFfkY)

ROOT, B.C.

[1] Wytema, M.S. *Klaar voor onderwater - Met Hr. Ms. K XVIII langs een omweg naar Soerabaja*. Amsterdam, Andries Blitz, 1935.

[2] Gedenkboek F.A. Vening Meinesz. *Verhandelingen van het Koninklijk Nederlandsch Geologisch – Mijnbouwkundig Genootschap, Geologische serie deel XVIII*.'s-Gravenhage, Mouton & Co., 1957.

[3] Vening Meinesz, F.A. (1921-1945). *Gravity expeditions at Sea Vol. I-IV*. Publication of the Netherlands Geodetic Commission. Delft, Waltman.

[4] [4] Hengel, T.J.C. van. *The Diving Dutchman: het marien-gravimetrisch onderzoek van F.A. Vening Meinesz (1887-1966)*. PhD Thesis, University of Leiden, Leiden, 2014.

[5] Vening Meinesz, F.A. *Theory and practise of pendulum observations at sea.* Publication of the Netherlands Geodetic Commission, Delft, Waltman, 1929.

[6] Hess, H. "History of Ocean Basins". In: A. E. J. Engel, H. L. James, and B. F. Leonard, eds. *Petrologic studies: a volume in honor of A. F. Buddington*. Boulder, CO: Geological Society of America, 1962, pp. 599-620.

[7] Talwani, M. "Gravity Measurements on HMS Acheron in South Atlantic and Indian Oceans". *Geological Society of America Bulletin*, 73, 1962, pp. 1171-1182.

SIETSMA, J.

[1] Bogers, A.J. en W.G. Burgers. *Acta Metallurgica*, 12, 1964, p. 255.

[2] Kolster, B.H. "Willem Gerard Burgers, een 'gentleman scientist' ". In: *Delfts Goud – Leven en werk van achttien markante hoogleraren*. Wakker, K.F. et al., redactie. TU Delft / Bèta Imaginations, 2002, pp. 182-197.

[3] X. Ou, J. Sietsma en M.J. Santofimia. *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 24, 2016, 055019.

STAPERSMA, D.

[1] Blanken, I. en H. Lintsen. *Mechanische kracht in de industrialisatie van Nederland (1850-1950)*, 1981.

[2] *De Polytechnische School – Album bevattende de portretten der docenten en afbeeldingen van gebouwen, laboratoria, teekenzalen, enz.* Waltman MDCCCXCV (2006.0022 TMD).

[3] Westendorp, F., H.S. Hallo en T.K.L. Sluyterman. *De Technische Hoogeschool te Delft van 1905 tot 1930*. Waltman, Delft 1930 (TR 3033420).

[4] Technische Hoogeschool - Gebouw voor Werktuig- en Scheepsbouwkunde – Werktuigbouwkunde, Fotoalbum 1926 -1945, (2006.0017 TMD).

[5] Fotoboek Technische Hoogeschool – Album 1 t/m 4 (2006.0019 TMD) (Hierin originele foto's uit [3]).

[6] Meyer, P. *Der Gasmachinenbau in den letzten zwei Jahrzehnten*. Intreerede TH Delft, 1911, Waltman.

[7] Giljamse, L. "Ontwerp en fabricage van een 1-cilinder dieselmotor bestemd voor laboratorium-doeleinden". *De Ingenieur*, Vol. 86, nr. 35, 29 aug. 1974.

[8] Aarts, J.M. et al. *A Century of Doctorates at Delft - Extract from the Register of Doctorates at Delft University of Technology - 1905 through 2001*. TU Delft 2002.

THIJS, W.L.Th.

[1] D:Dream is het acronym van *Delft: Dream Realisation of Extremely Advanced Machines*.

[2] Website - http://ddream.tudelft.nl/.

[3] *Van Dagdroom naar D:DREAM – 15 jaar D:Dream Teams 2000–2015. Challenge the Future.* 2015, Nootdorp, Labordus' Teksten en Tekeningen, 2015. Verkrijgbaar bij Science Centre, TU Delft.

[4] De D: Dream Hall is gevestigd op Stevinweg 4, 2628CN Delft.

WEBER, K.J.

[1] Jaarboeken der Delftse Mijnbouwkundige Vereeniging 1931-32, 1952-53 en 1968-69.

[2] Wassink, J. "Afvoeren of opknappen". *Delft Integraal*, 2013-3, pp. 16-17.

van WIJK, C.A.

[1] Máčel,O, S. Woertman en C. van Wijk. *Stoelen, Catalogus van de verzameling van de Faculteit Bouwkunde in Delft*, Uitgeverij 010, Rotterdam, tweede, herziene druk, 2010, pp. 196-201.

[2] Zie voor de geschiedenis van deze collectie bijvoorbeeld: J.W.L. Hilkhuijsen, *Delftse Art Nouveau, onderwijs en ontwerp van Adolf le Compte, Karel Sluyterman en Bram Gips*, Waanders uitgeverij, Zwolle 2001.

[3] Voor meer informatie over de Stoelencollectie, zie: C.A. van Wijk, The Delft Chair Collection, *Journal of Design History*, Archives, Collections and Curatorship section, Vol. 24 No. 1, doi:10.1093/jdh/epq047.

[4] In 1906 werd een Franstalige publicatie over de kolonie uitgebracht: *Talachkino. L'art décoratif des ateliers de la princesse Ténichef*, St. Petersburg, Sodrougestvo, 1906. Het boekje is te vinden via: https://archive.org/details/talachkinolartde00mako.

van WOERKOM, P.Th.L.M. (Histechnica)

[1] Hoop, D.de, G.A. van de Schootbrugge, en P.Th.L.M. van Woerkom (redactie). *Histechnica 40 jaar.* Histechnica, Delft, 2015. (129 pag.)

[2] Website van de vereniging Histechnica: http://histechnica.nl

[3] Website van de KIVI afdeling Geschiedenis der Techniek: https://www.kivi.nl/afdelingen/geschiedenis-der-techniek

[4] Website van het Science Centre van de TU Delft: http://sciencecentre.tudelft.nl/

[5] Website van de Stichting Academisch Erfgoed SAE, met directe verwijzing naar een deel van de TUD erfgoed collectie: http://www.academischecollecties.nl/search?text=delft&institute=&materials=&vakgebied=&beginjaar-ignore=&eindjaar-ignore=

van WOERKOM, P.Th.L.M. (Wiskundige modellen)

[1] Bruter, C.P. (ed.). *Mathematics and Art – mathematical visualization in art and education*. Springer, Berlin, 2002.

[2] Gray, A. *Modern Differential Geometry, of curves and surfaces with MATHEMATICA*. CRC Press, Boca Raton, 1998.

[3] Platform Wiskunde Nederland. *Imaginary – wiskunde in sprankelende beelden.* http://www.imaginarymaths.nl/#catalogus .

[4] Schilling, M. *Catalog mathematischer Modelle für den höheren mathematischen Unterricht*. Siebente Auflage. Verlag Martin Schilling, Leipzig, 1911.

[5] Schram, W.D. *70 Delft geometric models.* http://www.romanaqueducts.info/modellen/DelftseModellen.html

[6] Afbeelding van de drie hyperboloïde koeltorens ontleend aan: http://www.demijnen.nl/actueel/nieuws-item/het-pareltje-van-de-professor .

CURRICULA VITAE

AARDOOM, L.

Prof.dr.ir. L. Aardoom is Geodetisch ingenieur. Initieerde (1960) bij TH Delft geodetische toepassing van satellieten. Werkte (1964-1966) bij Smithsonian Astrophysical Observatory, V.S. Promoveerde (1973) aan Universiteit Uppsala, Zweden. Kreeg (1974) leiding over landelijk ruimteonderzoek gesubsidieerde TH Werkgroep Satellietgeodesie met observatorium bij Kootwijk. Legde zich later als emeritus hoogleraar Satellietgeodesie toe op de geschiedenis van de geodesie in het algemeen.

ANKERSMIT, W.

Ir. W. Ankersmit MA is Civiel ingenieur en historicus. Van 1976 tot 1980 werkte hij bij de Unie van Waterschappen en van 1980 tot 2004 voor het ministerie van Buitenlandse Zaken als sector specialist water en sanitatie. Van 2004 tot 2010 studeerde hij geschiedenis aan de Universiteit Leiden en publiceert over onderwerpen op het gebied van economische- en milieugeschiedenis.

van BEKKUM, H.

Prof.dr.ir. H. van Bekkum studeerde Scheikunde aan de TUD en promoveerde daar bij Prof. Wepster. Hij was enkele jaren werkzaam op het Shell-lab te Amsterdam. In 1971 benoemd tot hoogleraar Organische Chemie te Delft; in 1975 tot Rector te Delft. Met een sterk team van medewerkers begeleidde hij talrijke afstudeerders en promovendi (75, Delfts record). Ruim 600 publicaties reflecteren het researchwerk van de groep, dat op onderdelen aansloot op het Böeseken-werk. Hij ontving diverse prijzen. Lid van de KNAW.

van BEUSEKOM, W.A.

W. A. van Beusekom studeerde Landmeetkunde aan de HTS-Utrecht (1961-1964). Werkte als landmeter bij het Kadaster (1964-1970) en bij de Meetkundige Dienst RWS, afd. NAP (1970-2002). Was o.m. docent van de bedrijfsopleiding (1971-1974) en betrokken bij leerplannen MBO-Landmeetkunde (1974-1999) en examinator NLF-landmeet assistent (1974-1999). Redacteur van het vaktijdschrift *Geodesia* (1974-1980) en publiceerde o.m. over bodembeweging. Adviseur hoogtemetingen in Botswana (1975) en Indonesië (1986-87). Bestuurslid stichting DHC (1998-2011).

BOGAERTS, M.J.M.

Prof.dr.ir. M.J.M. Bogaerts begon zijn loopbaan bij de TH Delft als medewerker bij de leerstoel Planologische Geodesie. Tot zijn benoeming in 1976 tot hoogleraar in de Vastgoed-informatie kreeg hij de gelegenheid tot het ontwikkelen van nieuwe landmeetkundige instrumenten. Hij gaf daarmee een stimulans Europa-breed aan de overgang van analoog naar digitaal in de grootschalige (gedetailleerde) topografie. Hij leidde de faculteit (en latere afdeling) Geodesie vanaf 1978 tot zijn emeritaat in 2002.

DELFOS, R.

Dr. R. Delfos studeerde Natuurkunde in Utrecht. Voor zijn promotieonderzoek kwam hij naar het Laboratorium waar hij promoveerde op meerfasenstromingen. In dienst van SenterNovem werkte hij aan de ontwikkeling van efficiëntere olie-waterscheiders. In 2000 kwam hij als universitair docent terug, als onderzoeker naar diagnostiek voor turbulente stromingen. Sinds 2013 is hij opleidingsdirecteur van de Bachelor Werktuigbouwkunde.

EKKELENKAMP, H.

Ir. H. Ekkelenkamp studeerde Elektrotechniek en Telecommunicatie aan de Technische Universiteit Delft. Hij deed onderzoek naar glasvezelcommunicatie bij het PTT-laboratorium en was vervolgens voor PTT, later KPN, internationaal werkzaam op het gebied van telecomnetwerkplanning, waarvan een groot aantal jaren in Indonesië en in Centraal- en Oost-Europa. Hij heeft bijzondere belangstelling voor de geschiedenis van de techniek met name geodesie en kartografie.

ERTSEN, M.W.

Dr.ir. M.W. Ertsen is Universitair Hoofddocent in de sectie Waterhuishouding (Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft). Hij is gespecialiseerd in geschiedenis en archeologie van irrigatiesystemen en publiceert geregeld over Nederlands-Indische en andere koloniale irrigatiewerken.

HARTMANN, Dap

Dr. Dap Hartmann promoveerde in de Sterrenkunde aan de Universiteit Leiden. Hij was *Visiting Scientist* aan het Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics in Cambridge (USA) en wetenschappelijk onderzoeker aan de Universiteit van Bonn en het Max Planck Institut für Radioastronomie in Bonn. In 2003 werd hij universitair docent Innovatie en Ondernemerschap aan de TU Delft. Sinds 2012 is hij universitair hoofddocent.

HEIJMANS, H.G.

Dr. H.G. Heijmans is natuurkundige en promoveerde in 1994 op de geschiedenis van het natuurkundig onderzoek in Utrecht tussen 1885 en 1940. Hij bekleedde verschillende functies bij diverse wetenschapsmusea en was directeur van het Techniek Museum te Delft tot 2008. Vanuit TU Delft Library bleef hij beheerder van het Academisch Erfgoed tot 2016. Momenteel is hij Manager Research Services van de Library.

van den HOVEN, M.J.

Prof.dr. M.J. van den Hoven is Universiteitshoogleraar Ethiek & Techniek aan de Faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM) van de Technische Universiteit Delft. Hij is oud waarnemend decaan van TBM. Hij is o.m. mede-oprichter en eerste wetenschappelijk directeur van het 3-TU Centrum voor Ethiek en Technologie en initiatiefnemer en programmavoorzitter van het NWO programma Maatschappelijk Verantwoord Innoveren.

van INGEN, J.L.

Prof.dr.ir. J.L. van Ingen studeerde Vliegtuigbouwkunde (1949-1954, cum laude) in Delft. Vanaf 1952 betrokken bij het LSL (1952 student-assistent, 1954 wetenschappelijk medewerker, 1965 promotie (cum laude), (1965-1967, Lockheed, USA), 1966 lector, 1970 hoogleraar, (1972-1974 en 1991-1997, decaan), 1997 emeritaat.

JACOBS, J.J.

Prof.ir. J.J. Jacobs studeerde Bouwkunde en Industrieel Ontwerpen aan de TH Delft. (ir. diploma, als één der eersten bij IO, in 1973). Werkzaam bij Gipsen & Staalmeubel in Culemborg als industrieel ontwerper 1973-1986. Voltijds hoogleraar toegepaste vormgeving Faculteit Industrieel Ontwerpen 1986-2012. Bij Industrieel Ontwerpen begeleidde hij onder meer 396 afstudeerders op projecten in het nationale en internationale bedrijfsleven.

KRUIT, P.

Prof.dr.ir. P. Kruit is hoogleraar Natuurkunde aan de TU Delft op de leerstoel die Prof. LePoole bezette in de tijd van de beschreven EM300. Hij is (mede-) auteur van meer dan 200 wetenschappelijke artikelen en 60 internationale patenten. De bedrijven MAPPER (elektronenlithografie) en DELMIC (gecombineerde elektronen- en licht-microscopie) werden mede door hem opgericht. Hij werkt ook nog steeds samen met de opvolgers van Philips Electron Optics.

LAGERS, G.

Ir. G. Lagers studeerde af in Scheepsbouwkunde aan de TH Delft in 1968. Sindsdien is hij werkzaam geweest in de offshore-industrie, bij IHC Gusto, MSC en als zelfstandig consulent. Rond 1980 werkte hij ruim 3 jaar in Californië mee aan de ontwikkeling van een diepzee mijnbouwsysteem voor de winning van mangaanknollen. Van 2004 tot en met 2007 was hij curriculum leader van de masteropleiding in Offshore Engineering.

LOEDEMAN, J.H.

Ir. Janhein Loedeman is opgeleid in de Cultuurtechniek aan de toenmalige Landbouwhoogeschool Wageningen. Hij is docent geweest aan de Hogeschool Larenstein in Velp en aan de Landbouw-universiteit Wageningen; aanvankelijk in luchtfoto-interpretatie en luchtfotografie, later in land-meten, fotogrammetrie en kaartprojecties.

MANDERS, B.

Drs. B. Manders is een geoloog van de Universiteit van Utrecht. In de tachtiger jaren werkte hij als mineraloog en productie-geoloog in de open pit mijnen van ZCCM in de Zambiaanse Copperbelt en als reservoir-geoloog voor Agat Consultants en Robertson Research in Calgary (Canada). Sinds 1991 levert hij, via achtereenvolgens Geo-Logic, Fugro en CGG, informatie en 'Newsletters' over de exploratie en productie van gas & olie in en rond Nederland.

van der MEER, M.J.M.

Drs. M.J.M. van der Meer studeerde Geologie aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Hij werkte tot 1995 als geoloog bij de Rijks Geologische Dienst, Core Laboratories en TN. Daarna was hij zelfstandig ondernemer, waarna hij in 2001 in dienst trad bij het Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek. Na een jaar bij Science Museum NEMO is Michael van der Meer sinds 2009 directeur van het Science Centre van de TU Delft.

MEIJERS, P.

Prof.dr.ir. P. Meijers studeerde Werktuigbouw aan de TU-Delft met specialisatie Toegepaste Mechanica (ir. diploma 1961). Kort voor het emeritaat van prof. Biezeno 1958 volgde hij zijn college Elasticiteitstheorie, waarin het zeepvlies-analogon werd besproken. In 1967 gepromoveerd (promotor prof. Koiter). 1967-1977 Onderzoek Technische Mechanica bij het TNO Instituut voor Werktuigkundige Constructies (IWECO). 1973-1996 Hoogleraar Technische Mechanica aan de Fac. Werktuigbouw van de TU-Delft.

MOOIJ, J.E.

Prof.dr.ir. J.E. Mooij studeerde Technische Natuurkunde in Delft en werd daar ingenieur (1965) zowel als doctor (1970). In Delft startte hij vervolgens onderzoek aan nanostructuren. In 1980 werd hij tot hoogleraar benoemd. Sabbathicals leidden naar Stanford, MIT en NTT in Japan. Het emeritaat volgde in 2006. Hans Mooij is universiteitshoogleraar in Delft, erelid van het KIVI en eredoctor in Trondheim.

MULDER, J.A.

Prof.dr.ir. J.A. Mulder studeerde Vliegtuigbouwkunde aan de TH Delft (Ir. 1968). Opleiding voor 'ingenieur-vlieger' aan de toenmalige Rijks Luchtvaart School in Eelde (diploma 1967). Voortgezette opleiding (een jaar) en dienstplicht bij de Koninklijke Marine Vliegdienst. Na terugkeer in Delft promotie bij prof. O.H. Gerlach (1986). Benoemd tot gewoon hoogleraar dynamica en besturing van vliegtuigen (1989). Met emeritaat in 2010. Naast zijn wetenschappelijke loopbaan was hij actief als verkeersvlieger.

OLSDER, G.J.

Prof.dr. G. J. Olsder deed doctoraal Toegepaste Wiskunde (1968) en promotie (1971) aan de Rijksuniversiteit Groningen. Wetenschappelijk medewerker TH Twente 1971-1981, Hollandse Signaalapparaten (tegenwoordig Thales), Hengelo, 1981-1983. Hoogleraar systeem- en besturingstheorie TU Delft 1983-2009; laatste negen jaren tevens conrector. Sabbatical years: Stanford, Harvard, INRIA (Frankrijk, 2 keer). Vanaf 2009: met emeritaat. Hij heeft drie Elfstedentochtkruisjes behaald.

PETERS, J.A.

Dr.ir. J.A. Peters was van 1969 tot 2009 verbonden aan de faculteit Technische Natuurwetenschappen van de TUD. Verrichtte, na promotie bij prof. van Bekkum op de synthese en conformatieanalyse van cyclohexanen en bicyclo[3.3.1]nonanen (1978), onderzoek aan katalyse en non-food toepassingen van suikers (o.a interacties met boraten). Heeft de laatste decenia voornamelijk gewerkt aan ontwerp en fysisch-chemische karakterisering van MRI contrastvloeistoffen. De resultaten werden beschreven in ca. 300 publicaties.

ROBERTSON, L.A.

Dr. L.A. Robertson FRSB worked until 2014 at the TU Delft on microbiological sulphur and nitrogen removal from wastewater and acted as a Biological Safety Officer. She curates the Delft School of Microbiology Archives and researches Antoni van Leeuwenhoek and his microscopes. She is also Deputy Section Editor for the history of microbiology at FEMS Microbiology Letters.

ROOT, B.C.

Ir. B.C. Root haalde zijn masterdiploma in 2012 aan de TU Delft bij de faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek. Zijn Master thesis was getiteld *Validating and improving the orbit determination of Cryosat-2*. Hij zal in 2017 zijn promotieonderzoek verdedigen, genaamd *Exploring the lithosphere with satellite gravimetry*.

SIETSMA, J.

Prof.dr.ir. J. Sietsma is Metaalkundige (TU Delft: ir. 1981, dr. 1987), sinds 2009 hoogleraar aan de TU Delft, met leeropdracht *Microstructure Control in Metals*. Zijn voornaamste expertise ligt in de fysische en thermodynamische processen bij de vorming en het gedrag van microstructuren in metallische legeringen. Hij werkt aan de fundamentele aspecten van de productie van metalen en het gedrag van materialen in een wijd scala van toepassingen.

STAPERSMA, D

Prof.ir. D. Stapersma studeerde Werktuigbouwkunde aan de TU Delft. Vanaf 1973 werkte hij bij Nevesbu aan verschillende marine projecten. In 1993 werd hij hoogleraar platformsystemen aan het Koninklijk Instituut voor de Marine (KIM). In 2000 werd hij benoemd tot deeltijd hoogleraar aan de TU Delft voor scheepswerktuigkunde & dieselmotoren en gaf daar tot zijn pensioen in 2013 onder meer het college dieselmotoren.

THIJS, W.L.Th.

Dr.ir. W.L.Th. Thijs studeer*de* Werktuigbouwkunde aan de TU Delft en promoveerde op Beslissingstheorie. Hij was docent bij Werktuigbouw en Maritieme Techniek en een kleine twintig jaar "het gezicht van Werktuigbouwkunde" op voorlichtingsdagen, diploma uitreikingen etc. Hij was vanaf de start in 2000 tot aan zijn pensioen in 2015 inspirator en beschermheer van alle DreamTeams. Hij richtte de D:DREAM Hall op.

VELDHUIS, L.L.M.

Prof.dr.ir. L.L.M. Veldhuis studeerde Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek (LR) in Delft (ir-diploma in 1987). Vanaf 1987 universitair docent bij de leerstoel Aerodynamica. In 2005 volgde een promotie bij LR. Van 2005 tot 2014 hoofd van de windtunnellaboratoria van de faculteit LR. Sinds 2013 voltijds hoogleraar bij LR als hoofd van de sectie Vliegtuigprestaties en Voortstuwing. Vanaf 2014 tevens Programmadirecteur van de LR masteropleiding.

WAKKER, K.F.

Prof.ir. K.F. Wakker is Vliegtuigbouwkundig ingenieur aan de TH Delft. Bleef bij deze universiteit werkzaam. Specialiseerde zich in de baanberekening van satellieten. Werd in 1985 benoemd tot hoogleraar Ruimtevaarttechniek. Van 1993 tot 1997 en van 1998 tot 2002 Rector Magnificus van de TU Delft. Van oktober 2003 tot februari 2009 algemeen directeur van SRON en hoogleraar Astrodynamics and Geodynamics. Per februari 2009 met emeritaat, maar tot 2016 onderwijs gegeven in de astrodynamica.

WEBER, K.J.

Prof.dr.ir. K.J. Weber studeerde Mijnbouwkunde aan de TU Delft (Ir. diploma 1960). Van 1960 tot 1993 werkte hij bij Shell Research (onderdeel van Shell Internationale Petroleum Maatschappij). Van 1985 tot 1999 was hij hoogleraar Produktie Geologie aan de TU Delft. In de periode 1993-1999 was hij gastdocent aan de École Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs (Frankrijk). In 2002 ontving hij een eredoctoraat van de Heriot-Watt University (UK).

van WIJK, C.A.

Drs. C. A. van Wijk is medewerker van de afdeling Geschiedenis van de afdeling Architectuur en Stedenbouw van Faculteit Bouwkunde van de TU Delft. Naast taken op het gebied van onderwijs en onderzoek beheert zij ook een aantal onderwijscollecties, waaronder de Stoelencollectie. In het onderzoek spelen de geschiedenis van collectiestukken en collecties, en het gebruik ervan in het onderwijs, een centrale rol.

van WOERKOM, P.Th.L.M.

Dr.ir. P. Th.L.M. van Woerkom MA studeerde aan de TH Delft (Vliegtuigbouwkunde, ir. 1969) en aan Princeton University (Aerospace and Mechanical Sciences, MA 1969, PhD 1972). Van 1972 tot 1997 werkte hij bij het NLR, hoofdafdeling Ruimtevaart. In 1994 trad hij in dienst in deeltijd bij faculteit LR (TU Delft) en in 1997 in dienst in voltijd bij faculteit 3mE (TU Delft).

Histechnica Erfgoed commissie "175 jaar TU Delft"

De vereniging Histechnica werd in 1974 opgericht.

Zij heeft tot doel de belangstelling voor de geschiedenis en de moderne ontwikkelingen van techniek en natuurwetenschappen te stimuleren bij een breed publiek. Daarbij ondersteunt Histechnica de TU Delft bij de verwerving, het onderhoud, de beschrijving en de presentatie van haar Erfgoed objecten, en organiseert zij voordrachten, excursies en studiereizen, in samenwerking met de KIVI afdeling Geschiedenis der Techniek.

Voor meer informatie en voor aanmelden als lid kunt u zich richten tot het secretariaat, via de website www.histechnica.nl.