

# ERVARING, INTUÏTIE EN VERNUFT IN DE MECHANICA EN DE TECHNIEK

*Rede, uitgesproken op de 13de januari 1951 bij gelegenheid van de 109de verjaardag van de Technische Hogeschool door de Secretaris van de Academische Senaat C. G. J. Vreedenburgh*

*Excellentie, Mijne Heren Curatoren, Mijnheer de Rector Magnificus, en gij allen, die door uw aanwezigheid blijk geeft van uw medeleven met de dies natalis van onze hogeschool*

*Zeer geachte toehoorderessen en toehoorders,*

Zoals ge weet, behoort het tegenwoordig ook tot de plichten van de Secretaris van de Academische Senaat, bij gelegenheid van de herdenking van de verjaardag van onze hogeschool, een rede uit te spreken. Deze functionaris is dit cursusjaar een vertegenwoordiger van de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde en het is hem een eer zich van deze taak te mogen kwijten. Hij is, volgens de traditie van de diësnedenaars, gebonden aan de opdracht te spreken over het werk, dat hij doceert en dat is momenteel de plasticiteitsleer en de bijzondere bouwconstructies, een betrekkelijk moeilijk gebied uit de moderne techniek, waarin de hogere toegepaste mechanica een grote rol speelt.

Er is echter voor U geen reden tot ongerustheid, want hij, die voor U staat, is uiteraard niet van plan uw goede stemming te verstoren en daarom zal hij zijn opdracht wat ruimer interpreteren en U spreken over: *Ervaring, intuïtie en vernuft in de mechanica en de techniek.*

Mechanica betekent eigenlijk werktuigkunde, maar zoals ge weet verstaat men er sinds lang onder de leer van de beweging – rust inbegrepen – en de oorzaken, welke deze beïnvloeden. Men kent verschillende mechanica's, zoals b.v. de theoretische en toegepaste mechanica, de mechanica van vloeistoffen, de lucht, de grond, de levensverrichtingen, de astronomische mechanica, de quantummechanica.

Daar de beweging een essentieel element is van het wereldgebeuren, is het duidelijk, dat de mechanica, ondanks de simpele omschrijving van haar doelstelling, wel een onafzienbaar gebied moet omvatten. Ze kan worden beschouwd als de taal, waarin de natuur tot ons spreekt.

Mag ik om dit toe te lichten, U uitnodigen in gedachten met mij mede te gaan? Ik geleid U naar een hoge duintop, om getuige te zijn van een zons-  
ondergang.

De hemel is in rode gloed; massa wordt omgezet in straling; quantummechanica. Langzaam daalt de vuurrode bol naar de horizon; GALILEI had gelijk, maar de Kerk had geen ongelijk; relatieve beweging. Er waait een

stevige bries als gevolg van een depressie in het westen; drukverschillen in de lucht, wet van BUYS BALLOT. Het is vloed; aantrekkingswet van NEWTON. De zee golft in eindeloze deining; in de verte golven van GERSTNER, meer nabij de kust die van AIRY. Een vissersboot dobbert op de golven; beweging van en om het zwaartepunt. Misschien is één van de opvarenden wel zeeziek; traagheidskrachten op inwendige organen. Een zeemeeuw zweeft met uitgestrekte vleugels in de lucht; liftkracht van KUTTA-JOUKOVSKY. Kinderen spelen op het strand en maken vormpjes van vochtig zand; capillaire hoofdspinningen, grondmechanica. In de verte zien we de watertoren van de duinwaterleiding; grondwaterstroming, wet van DARCY. Dichterbij hoge radiomasten; toegepaste mechanica, limit design.

Ge brengt de hand naar uw hoed, om deze voor afwaaien te behoeden. Onbewust hebt ge met uw armspieren de momentenstelling toegepast. Ge doet daarbij een stap achteruit om aan de evenwichtsvoorwaarden te blijven voldoen. Uw hart klopt; dynamica van vloeistoffen, de voortplantingssnelheid van de bloeddruk in uw aderen geschiedt volgens de formule van KORTEWEG. Ge zijt er U niet van bewust, maar vanaf uw prilste jeugd werd door U de theorie van de ruimtelijke spanningstoestanden toegepast in de vorm van de trabekels in de gewrichten van uw ledematen. Want de kleine beenbalkjes in de spongiosa zijn volgens ruimtelijke hoofdspinningstrajectoriën gericht, zoals CULLMANN en JULIUS WOLFF hebben ontdekt.

De zon is ondergegaan, Venus is als avondster verschenen. Sterrebeelden, de Melkweg en enkele nevelvlekken worden zichtbaar; machtig schouwspel van de onbegrensde, niet-Euclidische wereld, waarin massa's zich bewegen volgens geodetische lijnen.

Mag ik, nu het toch donker is geworden, U thans uitnodigen een filmjournaal te zien in een van onze bioscopen?

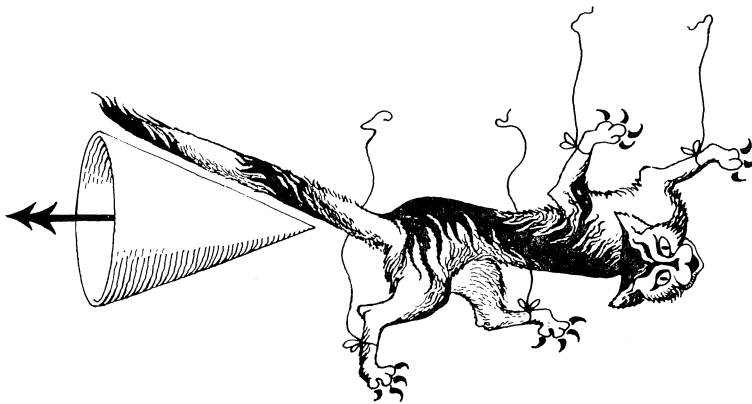
We zien een internationale biljartwedstrijd. Prachtig zijn de botsingseffecten, die verkregen worden, terwijl de ballen na iedere stoot steeds bij elkaar terugkomen, alsof ze door onzichtbare touwtjes naar elkaar toe worden getrokken. Intuïtief worden hier de moeilijkste bewegingsproblemen tot daadwerkelijke oplossing gebracht, terwijl het niet eens zeker is of de meeste biljartspelers wel weten, hoe groot het traagheidsmoment van een bol is ten opzichte van de middellijn.

Nu volgt een zwemwedstrijd met demonstraties in schoonspringen van een hoge toren. Dit zijn wel heel interessante bewegingsverschijnselen. Terwijl het zwaartepunt van het lichaam een parabolische baan beschrijft, zijn het vooral de bewegingen om het zwaartepunt, die bewondering afdwingen. Gewoonlijk is er een aanvangsrotatie, die door het intrekken of uitstrekken van ledematen intuïtief wordt gevarieerd. Door het eerste wordt het traagheidsmoment om de rotatieas verkleind en daardoor de snelheid van de rotatie vergroot, terwijl door het tweede het omgekeerde plaats vindt. Zo worden door de zwemsters en

zweimmers enkele en dubbele saltomortales uitgevoerd, al of niet gepaard met een rotatie om de lengteas van het lichaam, om tenslotte in licht gebogen gestrekte stand in het water te duiken.

Nauw verwant met deze bewegingen zijn die, welke worden uitgevoerd door een kat, die van niet te kleine hoogte naar beneden valt. De kat komt zoals ge weet altijd op haar poten op de grond terecht. Volgens A. FÖPPL heeft dit verschijnsel in 1894 nog een onderwerp van ernstige discussie uitgemaakt in de Franse Academie van Wetenschappen. De strijdvraag was of een stoffelijk lichaam, dat in rust verkeert, zonder invloeden van buiten, al dan niet rotatie om een as kan verkrijgen. Velen dachten op grond van de tweede impulsstelling dat dit niet mogelijk was. Men nam toen proeven met katten, die met de poten naar boven aan draden werden opgehangen. De draden werden voorzichtig tegelijkertijd doorgesneden, zodat de kat aan de omgeving geen aanvangsrotatie kon ontleen. Daarna viel ze in een donkere ruimte naar beneden. Het bleek, dat de katten bij zeer verschillende mits niet te kleine valhoogten, steeds met de poten op de grond terecht kwamen. Uit genomen foto's waren de lichaamsbewegingen van de kat nauwkeurig te bestuderen. Een van de manieren, waarop de kat een draaiing om de lengteas van haar lichaam teweegbracht, was door haar staart krachtig te draaien als een conische slinger. Geschiedt dit b.v. rechtsom, dan zal de rest van het lichaam een draaiing linksom ondergaan, omdat het totale impulsmoment, dat in de beginne nul was, zonder invloeden van buiten nul moet blijven. En zo hebben de katten ons inzicht in de bewegingsmogelijkheden van lichamen op overtuigende wijze helpen verdiepen.

Thans zien we een kindervakantiekolonie. Kinderen vermaken zich op een binnenplaats met allerlei spelletjes, waaronder ook enige tollen. Zo'n tol of gyroscoop behoort wel tot de merkwaardigste toestellen uit de mechanica. Sir JOHN HERSCHEL noemde in zijn „*Outlines of Astronomy*” de tol dan ook een „*philosophical instrument*”. Hoe komt het dat een stilstaande tol op zijn



punt gezet omvalt, terwijl een draaiende tol dit niet doet? Wanneer men een in een raam draaiende gyroscop met b.v. verticale rotatieas in zijn hand houdt en hem om een horizontale as wil draaien, zal men voelen, dat de gyroscop zich daartegen verzet en daarbij zijn rotatieas naar de horizontale draaiingsas toe wil verplaatsen. Deze inwendige reactie is oorzaak, dat een draaiende tol onder een helling op de grond geplaatst, niet omvalt, maar met zijn as een kegelvormige praecessiebeweging beschrijft. Het is ook deze zelfde reactie, die bewerkstelligt, dat een gyroscopisch kompas, uitsluitend bestuurd door de aardrotatie, precies de richting van het noorden aanwijst. Van de stabiliserende werking door rotatie wordt, zoals ge weet door jongleurs veel gebruik gemaakt. Ook de boemerang berust op gyrostatische werking. Dit wapen van de wilden in Australië bestaat uit een sikkelvormige platte houten staaf, die met snelle rotatie in zijn vlak, onder een elevatiehoek in de lucht wordt geworpen. Daar het rotatievlak goed gehandhaafd blijft, stijgt de boemerang als het ware over een glad hellend vlak van lucht naar boven – daarbij al dan niet een boog beschrijvend – om wanneer hij het hoogste punt heeft bereikt weer langs het luchtvlak naar beneden te glijden en ongeveer bij de plaats van herkomst terug te keren. Deze wilden wisten de gyrostasie dus wel op originele wijze toe te passen.

Tenslotte zien we een pas voltooide wolkenkrabber in Amerika, een groots kostbaar bouwwerk van vele tientallen verdiepingen uit staal en beton, zeer veelvoudig statisch onbepaald, voorzien van alle denkbare comfort en de nodige langzame en snelle liften.

Hebt ge wel eens opgemerkt, dat wanneer een lift plotseling naar beneden gaat, het net is of ge zweeft? Omgekeerd, als de lift plotseling stijgt, is het een ogenblik of ge zwaarder geworden zijt. Deze gewaarwordingen duren echter alleen gedurende de versnellingsperioden. Bij daling of stijging met eenparige snelheid voelt gij niet eens dat ge beweegt. Denkt U zich eens de zwaartekracht van de aarde weggenomen. Wanneer ge nu in de lift van de wolkenkrabber zoudt zijn en de eerste zou met een versnelling  $g$ , gelijk aan die van de zwaartekracht naar boven gaan en zo een tijd door blijven gaan, dan zoudt ge gedurende deze tijd in de lift weer alle zwaartekrachtverschijnselen van de aarde hebben teruggekregen. Een zware en een lichte steen, die tevoren binnen de stilstaande lift zweefden, zouden bij afwezigheid van luchtweerstand, met dezelfde versnelling naar beneden vallen en ARISTOTELES zou dadelijk zijn dwaling hebben ingezien.

De lift staat weer stil en de zwaartekracht is nog steeds weggedacht. Door een kleine opening in de linker zijwand van de lift komt een horizontale lichtstraal binnen, die een klein lichtvlekje maakt op de rechterwand, waar we een rood kruisje plaatsen. Thans gaat de lift met een versnelling  $g$  naar boven. Een horizontale lichtstraal, die door de opening in de linkerwand binnenkomt,

zal nu de rechterwand niet meer treffen ter plaatse van het rode kruisje, maar iets lager. Het licht heeft nl. tijd nodig gehad om de afstand tussen linker en rechterwand te doorlopen en in deze tijd is de lift met eenparig versnelde beweging naar boven gegaan. Natuurlijk is de afwijking van de lichtstraal van de horizontale lijn zeer gering, omdat de lichtsnelheid zo groot is, maar ze moet toch bestaan. In een zwaartekrachtveld wordt een lichtstraal gebogen, zo'n veld gedraagt zich als het ware als een lichtbrekend medium. Dat lichtstralen door een gravitatieveld worden gebogen is inderdaad experimenteel bevestigd door waarnemingen bij zonsverduisteringen. En zo is de lift van de wolkenkrabber niet alleen nuttig voor de bewoners daarvan, maar ook geschikt om er gedachtenexperimenten mede te doen, het zwaartekrachtveld van de aarde naar believen te wijzigen en een heel klein tipje op te lichten van de sluier der relativiteitsmechanica.

Mijne toehoorderessen en toehoorders, met deze voorbeelden van het alomvattend gebied der mechanica, zou ik willen volstaan. Mag ik U daarom weer terug geleiden naar uw plaatsen in deze zaal en U terloops erop wijzen, dat de stoel met vier poten waar ge op zit een statisch onbepaalde ondersteuning is?

Overall om U heen, waar U zich ook bevindt, ziet en ondervindt ge de wonderlijke verschijnselen en invloeden der mechanica; in het dagelijks leven, de vrije natuur, bij sport en spel en in de techniek.

Wat verstaat men eigenlijk onder techniek? Het is moeilijk hiervoor een goede definitie te geven. Techniek is het maken van materiële dingen, van energievormen en van biologische vormen, zegt A. KOREVAAR. Techniek is het beïnvloeden van de materie door de gedelegeerde geest, zegt collega BROEZE. Al wat het stoffelijke van een kunst omvat, vond ik in een woordenboek.

We zullen ons niet in wijsgerige of taalkundige beschouwingen verdiepen, maar ik geloof, dat men niet kan ontkennen, dat dieren ook techniek bedrijven.

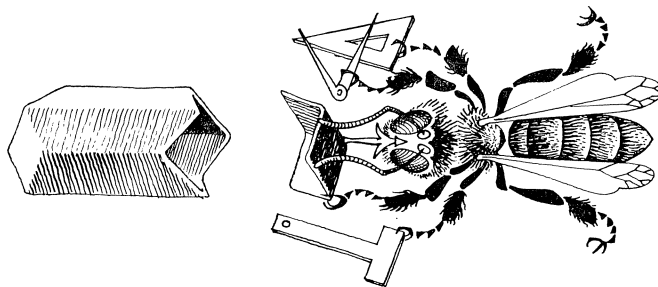
Hebt ge wel eens een spinneweb goed bekeken? Het zijn stelsels van gesloten krachtenpolygonen en dikwijls is de lengte van de draden, waaraan het web is opgehangen, uitgedrukt in de afmetingen van het spinnetje, zo groot, dat ze in de menselijke wereld kan worden vergeleken met die van menige téléférique in de Alpen.

En wat zegt ge van de bevers, die dammen bouwen in rivieren en plassen, om het waterpeil te regelen? Dammen van 30 m lang en 3 m breed zijn geen zeldzaamheid. Verder bouwen de bevers hutten of burchten in afgelegen moerassige terreinen, van door henzelf gevelde boomstammen, waarbij zo'n hut wel eens een vracht hout oplevert, die nauwelijks door twee paarden kan worden vervoerd.

Weet ge hoe de bijen hun cellen van een bodem voorzien? Dat de doorsnede van iedere cel een regelmatige zeshoek is, is bekend. Hoe worden echter de regelmatige zeszijdige prisma's, die tezamen de honingraat vormen afgesloten? Beschouwt men een verticaal zeszijdig prisma, dan zou men dit aan de onderzijde kunnen begrenzen door een vlakke bodem. De bijen hebben echter ontdekt, dat zij aan was kunnen sparen, door het anders te doen.

Neem drie hoekpunten van de regelmatige zeshoek van de vlakke bodem zodanig, dat wanneer men ze door rechte lijnen verbindt een gelijkzijdige driehoek wordt verkregen. Breng nu door de zijden van deze gelijkzijdige driehoek drie vlakken aan, die een zelfde scherpe hoek  $\alpha$  maken met de vlakke bodem. Door de snijding van deze drie vlakken onderling en met de zijvlakken van het zeszijdig prisma ontstaan dan drie congruente ruitvormige vlakken, die tezamen, in plaats van de vlakke bodem, ook een geschikte benedenbegrenzing van de cel kunnen vormen. De totale inhoud van de cel blijft bij deze nieuwe puntvormige begrenzing dezelfde; hij is zoals men gemakkelijk zal inzien, onafhankelijk van de hellingshoek  $\alpha$ . Het totale oppervlak van de cel – en daarmee is blijkbaar evenredig de hoeveelheid was, welke voor de bouw nodig is – blijft echter niet hetzelfde. Dit is bij een bepaalde waarde van  $\alpha$  een minimum. En nu vindt men hieromtrent in een geschrift van WOOD „Homes without hands” dat in 1867 verscheen, het volgende relaas, dat te aardig is om het U te onthouden.

Een zekere MARALDI heeft de hoeken van de ruitvormige begrenzingsvlakken van de bijencellen gemeten en vond daarvoor resp.  $109^{\circ}28'$  en  $70^{\circ}32'$ . RÉAUMUR, die vermoedde, dat deze hoeken wellicht verband zouden kunnen houden met een economische bouw van de cellen, heeft toen de mathematicus KÖNIG verzocht, de vorm te berekenen van een aan de benedenzijde door drie ruiten begrensd regelmatig zeszijdig prisma van gegeven doorsnede, waarvan de oppervlakte zo klein mogelijk is. RÉAUMUR kreeg als antwoord, dat de hoeken van de ruiten dan  $109^{\circ}26'$  en  $70^{\circ}34'$  moesten zijn. Het verschil met de door de bijen toegepaste hoeken was dus 2'. MACLAURIN was met dit resultaat niet tevreden. Hij herhaalde de metingen van de bijencellen en vond dezelfde hoeken als MARALDI. Daarna controleerde hij ook de mathematische berekening van KÖNIG en vond daarbij: een fout in de door deze gebruikte logaritmen.



Na correctie klopte de mathematische berekening precies met de door de bijen toegepaste hoeken. Natuurlijk behoeft dit nog geenszins te wijzen op enige mathematische kennis van de bijen, daar minimumproblemen dikwijls ook experimenteel kunnen worden opgelost, op dezelfde wijze als b.v. een kind door ervaring de kortste weg naar zijn school leert vinden. Wel is dit een treffend voorbeeld, hoe ook dieren bij hun techniek, de economie kunnen betrachten.

Beperken wij ons verder alleen tot de techniek van de mens, zo kan men wel aannemen, dat deze even oud is als de geschiedenis der mensheid zelve. Alhoewel de woningbouw van de primitieve mens niet veel verschild zal hebben van die van de dieren – holen, hutten van leem en bladeren – onderscheidde zijn techniek zich reeds in overoude tijden door het gebruik van werktuigen, die allereerst vervaardigd werden ten behoeve van de jacht, visvangst en landbouw. Men denke aan de knots, de spies, pijl en boog, de spade en de ploeg. Met het handwerk ontwikkelden zich ook werktuigen voor de bewerking van materialen als hout en steen, het vervaardigen van aardewerk en het weven van stoffen. Het oudste mechanisch transportmiddel over land was de slede, waarvan b.v. de oude Egyptenaren gebruik maakten voor het vervoer van kolossale steenblokken en steenfiguren ten behoeve van hun bouwwerken. Door het plaatsen van rondhouten onder de slede werd de beweging van de last vergemakkelijkt en dit leidde tenslotte tot de uitvinding van het wiel en de wagen. Uit de drijvende boomstam ontstond door uitholling de kano en daaruit weer de roeiboot en het schip voorzien van roer en zeil.

Waterbouwkundige werken in de vorm van bevoeiing en drainering zijn eveneens vanaf de vroegste tijden bekend en hingen ten nauwste samen met de culturele ontwikkeling in vele landen uit de Oudheid, zoals Egypte en Mesopotamië.

De primitieve mens beschouwde de door hem veelal bij toeval ontdekte verschijnselen echter als afzonderlijke op zichzelf staande feiten. Men vroeg niet naar het „hoe” en „waarom” en stelde zich tevreden met het nut van de gevonden ervaringen alleen. Eerst wanneer door toename van het bekende feitenmateriaal men een zekere wetmatigheid begon te bespeuren, ontstond behoefte de verschijnselen te verklaren, met het doel ze gemakkelijker te kunnen overzien, waarmede dan de kiem van een wetenschap werd gelegd.

Een verschijnsel verklaren betekent het tot een ander meer eenvoudig of meer algemeen verschijnsel terugvoeren. Wil men nu dit tweede verschijnsel verklaren, dan moet men het tot een derde terugvoeren enz. Als men zo doorgaat, komt men steeds tot een punt, waar men niet verder antwoorden kan en zo krijgt men de axioma's der wiskunde en de postulaten der mechanica.

Men kan onder wetenschap verstaan het menselijk weten als complex begrip. Kenmerkend daarbij is het verstandelijk ordenen van feiten en het opsporen van hun onderling verband. Doel is altijd het streven naar economie. In de eerste plaats het verkrijgen van arbeidsbesparing bij het denken, maar

ook het zo veel mogelijk overbodig maken van experimenten. Ze scheidt bovendien min of meer de mogelijkheid van generalisering en extrapolatie en de uitvoering van gedachtenexperimenten, waardoor bepaalde theorieën ontstaan. Voorts kan iedere wetenschap voor haar economische vormgeving gebruik maken van de wiskunde en haar symboliek. In de hedendaagse technische wetenschap treedt deze mathematisering dan ook heel sterk op de voorgrond.

Voor het bedrijven van techniek is een bewuste verstandelijke kennis van de wiskunde en mechanica echter niet noodzakelijk. Met ervaring en intuïtie kan men nl. reeds zeer ver komen. Wanneer men b.v. een bouwconstructie moet ontwerpen, is het dikwijls mogelijk gebruik te maken van uitgevoerde voorbeelden, die goed hebben voldaan. Zijn deze niet aanwezig, dan kan men zgn. „op gevoel” construeren, daarbij min of meer intuïtief rekening houdende met alle ervaringsmateriaal, waarover men beschikt. Is de op deze wijze ontworpen constructie tot stand gekomen, dan zijn er twee dingen mogelijk: of ze is sterk genoeg, of ze is dat niet. In beide gevallen heeft men echter iets geleerd en is men een ervaring rijker geworden. In het eerste geval, dat onze intuïtie juist was, in het tweede geval, dat men de constructie sterker moet maken, in het bijzonder op de plaatsen, waar breuken zijn ontstaan. Het is duidelijk, dat het op deze wijze mogelijk is, de grootste bouwwerken tot stand te brengen, zonder de wetenschappelijke methoden van onze tijd. Voorbeelden vindt men in de cultuurtechniek der oude volken, hun tempels en grafmonumenten, maar vooral in de technische werken, gebouwd in de bloeitijd van de Griekse en Romeinse beschaving.

Ge kent de gebouwencomplexen van *Olympia*, *Delphi* en de *Acropolis* van Athene, de havenwerken van *Pylos* en *Piraeus*. Nog indrukwekkender zijn de technische prestaties der Romeinen. Ik noem U de bouwwerken van Rome uit de keizertijd, het prachtige Forum Romanum, het reusachtige thermengebouw van Caracalla en vooral het merkwaardigste voorbeeld van de Romeinse koepelbouw, het Pantheon, met een gewelfoverspanning van ruim 43 m. Misschien weet ge het niet, maar de gehele dwarsdoorsnede van de dom van Keulen valt, behoudens het hoofdak, zowel in de hoogte als in de breedte binnen het inwendig profiel van het Pantheon. En deze enorme koepel hebben de Romeinen gebouwd, terwijl zij volkomen onkundig waren van de differentiaalvergelijkingen van de vierde orde, waartoe reeds een benaderingsberekening van de buigingsstijve bolschaal aanleiding geeft.

Dat de Romeinen meesters waren in de gewelfbouw blijkt ook uit de geweldige aquaducten, die zij voor hun waterleidingen bouwden. Zo wordt bij de waterleiding van CLAUDIUS het water in een reusachtig bouwwerk van tientallen kilometers lengte op bogen door de Campagna gevoerd.

Een merkwaardig voorbeeld van tunnelbouw vindt men in de aftapping van het meer van *Albano* ten zuidoosten van Rome  $\pm$  400 v.C. met behulp van een tunnel van 1200 m lengte met een profiel van 1,5 m breedte en 2-3 m hoogte.



Daarbij werden verticale schachten toegepast om het aantal boorplaatsen te vergroten. Tevens dienden deze schachten voor ventilatie en verwijdering van het uitgebroken materiaal. De inlaatsluis was voorzien van schuifafsluitingen en een rooster om drijvend vuil tegen te houden, terwijl ook een bezinkbak aanwezig was. De aftapping geschiedde omdat de natuurlijke afvloeiing van het meer te gering was, waardoor de waterstanden zeer hoog konden oplopen. Maar de directe aanleiding was de uitspraak van een Etruskische waarzegger. De Romeinen belegerden nl. toentertijd reeds gedurende 7 jaar de stad *Veji*. Volgens de waarzegger zou de stad niet vallen, vóórdát het Albanomeer zou zijn afgetapt. Daar de Romeinen niet overtuigd waren van de betrouwbaarheid van deze uitspraak zonden zij een afvaardiging van gezanten (een staatscommissie zouden we in onze tijd zeggen) naar Griekenland om het Orakel van Delphi te raadplegen. De gezanten kwamen terug met de boodschap, dat de mededeling van de waarzegger juist was. Het meer moest door middel van een tunnel worden afgetapt. Het water mocht echter niet naar zee worden afgevoerd, maar moest over meerdere kanalen verdeeld worden om de velden te bevoeien, en zo is geschied. Ongetwijfeld kan men de toenmalige priesters van het Orakel van Delphi een goede kijk op bevoeiingsvraagstukken niet ontzeggen.

CAESAR had reeds het plan de landengte van Corinthe door te graven, de Pontijnse moerassen droog te leggen en het meer van *Fucino*, gelegen in midden-Italië ten oosten van Rome, af te tappen. Dit laatste werk werd onder keizer CLAUDIUS begonnen. Er moest een tunnel gegraven worden van niet minder dan 6 km lengte naar het riviertje de Liris. De peilen van inlaat en uitvloeijing werden nauwkeurig vastgelegd om het nodige verhang van  $1\frac{1}{2} \text{ ‰}$  te verkrijgen. Het tunneltracé vertoont verscheidene knikken, deels om harde gesteenten te vermijden, deels om de diepte van de verticale bouwschachten te verminderen. In totaal hebben de Romeinen 40 schachten gebouwd met diepten variërende tussen 17 en 120 m. Toen CLAUDIUS stierf was het werk nog niet voltooid. NERO had er geen belangstelling voor. Onder HADRIANUS trad reeds een beduidende daling van de waterspiegel in het meer op, maar een algehele voltooiing werd niet bereikt. Tot 500 n. C. werd de tunnel echter slecht onderhouden. Het kanaal en de tunnel verstopten en de waterspiegel in het Fucino-meer bereikte weer de oude hoogte. Pogingen van FREDERIK II om de werken te verbeteren, mislukten. Tenslotte werd het werk eerst in de tweede helft van de 19de eeuw tot een definitief einde gebracht.

De Romeinen waren ook ervaren wegenbouwers, waarbij de constructie van het wegdek grote bewondering wekt. Het uitgestrekte wegennet bestond uit vijf stelsels, die voerden naar Afrika, Azië, Byzantium, Spanje en Brittannië. Afzonderlijke vermelding verdient de Perzische koningsweg, die leidde van *Susa* bij de Perzische golf naar *Sardes* in Klein Azië.

Voor zover men voor rivierovergangen niet kon gebruik maken van voordren of doorwaadbare plaatsen, paste men veren toe en schipbruggen. Vooral in dit brugtype waren de Romeinen zeer ervaren. Weliswaar hadden DARIUS en

XERXES reeds schipbruggen geslagen resp. over de Bosporus en de Hellespont, CALIGULA liet een dergelijke brug bouwen, dwars over de golf van *Baiae* ten westen van Napels, alleen om het genoeg te hebben over de zee te kunnen rijden. Het brugdek droeg een aarden dam als van de Appische straatweg, terwijl op bepaalde afstanden zelfs herbergen werden gebouwd. CALIGULA reed over de brug in een triumfatorwagen en beroemde zich erop de zee overwonnen en DARIUS en XERXES in de brugbouw overtroffen te hebben.

Bij Napels werd ook een havenpier gebouwd, waarbij de beton gedeeltelijk gestort werd en deels in de vorm van vooraf gereed gemaakte blokken werd aangebracht. Alzo pasten de Romeinen reeds de prefabricatie toe.

Veel van hetgeen uit deze bloeitijd van de techniek bekend is, danken wij aan de boeken, die VITRUVIUS over de bouwkunde heeft geschreven. Deze leefde in de 1ste eeuw v.C. en was dus een tijdgenoot van CAESAR en AUGUSTUS. In zijn boeken wordt behalve de architectuur ook de werktuigkunde behandeld alsmede de civiele techniek. Hij heeft verder zijn gedachten laten gaan over de eisen, welke aan de bouwmeester (dit is dus bij ons de ingenieur) te stellen zijn. Merkwaardig is zijn uitspraak, dat voor deze de theorie zo noodzakelijk is. De bouwkunstenaar, die zonder verworven kennis, aldus VITRUVIUS, alleen naar mechanische vaardigheid streeft, zal met zijn arbeid nooit beroemd worden. Hij moet niet alleen over een natuurlijke aanleg beschikken, maar ook leergierig zijn; want noch genie zonder kennis, noch kennis zonder genie, kan een volkomen kunstenaar opleveren. Verder moet hij vaardig zijn met de pen, handig in het tekenen, knap in de meetkunde, in de optica niet onwetend, in de rekenkunde onderricht, in de geschiedenis ervaren zijn, de filosofie vlijtig bestudeerd hebben, muziek begrijpen, kennis van geneeskunde hebben, bekend zijn met de rechtsgeleerdheid en de sterrenkunde beoefend hebben.

Wanneer ge nu weet, dat met optica in het bijzonder wordt bedoeld de verlichting van gebouwen, met muziek de leer van het geluid, dus akoestiek, met geneeskunde wat wij onder hygiëne verstaan en met rechtsgeleerdheid het bouwrecht, dan bevat het programma van eisen vele elementen, die tot op de huidige dag nog wonderwel passen in onze ingenieursopleiding, althans in die voor civiel-ingenieur.

De filosofie, waartoe ook de natuurkunde wordt gerekend, acht VITRUVIUS daarom zo belangrijk, omdat deze de bouwmeester een edele denkwijze geeft en maakt, dat hij niet trots maar bescheiden, redelijk en rechtschapen, voortreffelijk maar niet ijverzuchtig is, want zo vervolgt hij, zonder trouw en oprechtheid kan niets behoorlijks tot stand komen. Hij moet niet hebzuchtig zijn, noch er op uit zijn geschenken aan te nemen, maar met vastberadenheid niets tekort doen aan zijn waardigheid en zijn goede naam ophouden, want zo gebiedt de filosofie. Dus ook aan karaktervorming wordt door VITRUVIUS grote waarde gehecht en indien hij nog leefde, zou hij reeds hierdoor een nuttig lid

kunnen zijn geweest van een van onze commissies tot reorganisatie van het hoger onderwijs.

VITRUVIUS' nadrukkelijke uitspraak, dat voor de bouwmeester de theorie zo noodzakelijk is, is daarom merkwaardig, omdat immers algemeen aangenomen wordt, dat de bouwconstructies der klassieke oudheid zo goed als zonder wetenschap werden tot stand gebracht. Was er dan wél theorie, of bedoelde VITRUVIUS met zijn uitspraak juist op het gemis daarvan te wijzen?

Ongetwijfeld stonden de meetkunde en algebra reeds op een betrekkelijk hoog peil. Men denke aan de Griekse wiskundigen PYTHAGORAS, EUCLIDES, ARCHIMEDES, APOLLONIUS e.a. Ook de beginselen der landmeetkunde waren bekend. Zo heeft HERON VAN ALEXANDRIË een leerboek over landmeten geschreven en heeft hij vermoedelijk ook de dioptra uitgevonden, die als voorloper kan worden beschouwd van onze theodoliet. Trouwens, hoe zouden de Romeinen, zonder landmeten en waterpassen het tracé van de Fucinotunnel hebben kunnen uitzetten?

Een goed beeld van de toenmalige kennis der mechanica verkrijgt men uit de overige boeken van HERON VAN ALEXANDRIË, waarvan er verscheidene voor ons bewaard zijn gebleven, zoals die over geschutbouw, drukwerktuigen, windassen en katrollen. HERON was ook goed bekend met tandraden en de mechanische overbrenging en er zijn sterke aanwijzingen, dat de astronomische kunstuurwerken van de 16de eeuw, waaronder het beroemde uurwerk van de kathedraal van Straatsburg, zijn tot stand gekomen door bestudering van de Griekse mechanica. Althans beroept KONRAD DASYPIDIUS, onder wiens leiding het uurwerk te Straatsburg werd gebouwd, zich herhaaldelijk op HERON VAN ALEXANDRIË.

Men kende ook een soort afstandsmeter voor schepen, die veel heeft van ons hydrometrisch molentje. Men kende verder het vacuüm, de hevel en de communicerende vaten. De vernuftige drukmechanismen van HERON vallen voor het grootste deel op het gebied van het spel. Zo ontwierp hij een toestel, waarbij enige vogeltjes beginnen te fluiten, die daarmede ophouden, wanneer een naburige uil zich naar hen toewendt, opnieuw gaan fluiten als de uil zich afwendt, enz. Verder een toestel waarbij de deuren van een tempel open gaan als het vuur op een altaar wordt ontstoken. De deuren sluiten zich weer, als het vuur is uitgegaan. HERON bouwde ook toestelletjes, waarbij voor de rotatie wordt gebruik gemaakt van de reactie van uitstromende lucht of stoom in omgebogen buisjes.

Hadden de Grieken en Romeinen door de kennis van de momentenstelling reeds een goed inzicht in statische problemen, wat de dynamica betreft stond men nog geheel onder invloed van de peripatetische leerstellingen. Verder was nog niets te bespeuren van de berekening van de sterkte en de vormverandering van bouwconstructies.

Alhoewel er dus aanwijzingen zijn, dat de Grieken en Romeinen over meer theoretische kennis beschikten, dan men gewoonlijk aanneemt, kan niet worden

ontkend, dat hun techniek voornamelijk ervaringswetenschap was, althans geen gemathematiseerde technische wetenschap.

Des te meer bewondering moet men daarom hebben voor hun enorme technische prestaties, in het bijzonder voor die van de Romeinen. Met recht kan men dan ook zeggen dat de techniek omstreeks het begin van onze jaartelling een culminatiepunt heeft bereikt, om met de ondergang van de Griekse en Romeinse beschaving voor een deel weer verloren te gaan en in de Middeleeuwen in verschillende gevallen moest worden herontdekt. Nog vele eeuwen bleef ze ervaringswetenschap, waarbij men voornamelijk bouwde naar overlevering of uitgevoerde voorbeelden. Dat men hierbij niet gaarne de afmetingen van deugdelijk bevonden constructies overschrijdt, blijkt duidelijk uit de bouw van grote koepels. We zagen reeds, dat de koepel van het Pantheon te Rome een middellijn heeft van 43 m. De middenkoepel van de Sofiakerk te Konstantinopel, gebouwd onder JUSTINIANUS in de 6de eeuw n.C. heeft dezelfde middellijn. Evenzo die van de Santa Maria del Fiore te Florence, in de 15de eeuw gebouwd door BRUNELLESCHI. Tenslotte heeft de koepel van de St. Pieterskerk te Rome, gebouwd door BRAMANTE en MICHELANGELO in de 16de en 17de eeuw, eveneens deze middellijn. Het schijnt dus wel, dat men de afmeting van het Pantheon te Rome als een maximum beschouwde, die men niet dorst te overschrijden.

We gaan de Middeleeuwen stilzwijgend voorbij. GALILEI en NEWTON vestigden de grondslagen van de klassieke mechanica. NEWTON en LEIBNIZ voerden de differentiaal- en integraalrekening in.

Hoe moeilijk het was om een juist inzicht te verkrijgen in hetgeen geschiedt in het inwendige van belaste constructies, blijkt wel uit het probleem om de spanningsverdeling te vinden in de inklemmingsdoorsnede van een in een verticale wand volkomen ingeklemde prismatische staaf van rechthoekige doorsnede, die aan haar vrije uiteinde een verticale last draagt.

GALILEI nam een gelijkmatige verdeling van trekspanningen aan en LEIBNIZ een driehoekige verdeling met een neutrale lijn ter plaatse van de onderkant van de doorsnede. Merkwaardig is, dat deze overigens eminente geleerden niet zagen, dat dit onmogelijk was, omdat de staaf dan immers niet in horizontaal evenwicht kon zijn. Ook EULER had moeilijkheden met het buigingsprobleem. Ge weet, dat de eerste knikformule naar hem wordt genoemd. P. VAN MUSSCHENBROEK vond echter reeds in 1729, dat de sterkte van een centrisch gedrukte kolom omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de lengte. Verder stelde hij de knikkracht van een staaf met rechthoekige doorsnede evenredig aan de breedte en het kwadraat van de hoogte. Ge weet, dat dit laatste niet juist is. EULER vond in 1747 echter hetzelfde, maar gaf later wel uiting aan zijn vermoeden, dat het misschien wel de derde macht van de hoogte kon zijn. En het heeft nog zestig jaar geduurd, voordat de bedoelde evenredigheidsconstante in de knikformule geïdentificeerd werd met het traagheidsmoment van de doorsnede.

Men kan zeggen, dat eerst in het begin van de 19de eeuw, vooral door het baanbrekend werk van NAVIER, in de techniek een nieuwe periode werd ingeluid, doordat bouwconstructies op hun sterkte en stijfheid werden berekend. Ongetwijfeld zijn hierop mede van invloed geweest de beginnende mechanisering van de industrie en de opeenvolging van opzienbarende ontdekkingen en uitvindingen.

Vóór NAVIER hebben de grote wiskundigen en theoretici slechts weinig bijgedragen tot de vooruitgang van de techniek, voornamelijk omdat zij haar behoeften niet begrepen. Bekend is de boosaardige uitspraak van de Engelse ingenieur TREGOLD in zijn in het begin der 19de eeuw verschenen boek „Practical Essay on the strength of cast iron and other metals”, nl. „The stability of a building is inversely proportional to the science of the builder”.

Inderdaad is de taak van de ingenieur veel verantwoordelijker dan die van de theoreticus, vooral van hem, die de wetenschap beoefent alleen om haar zelf. Een bijzonderheid van de ingenieurswetenschap is immers, dat foutieve berekening of uitvoering tot ongelukken aanleiding kan geven. En al moge het tegenwoordig niet meer zo zijn als in de tijd van XERXES, die, toen zijn eerste schipbrug over de Hellespont door een storm werd vernield, alle bij de bouw betrokkenen het hoofd liet afslaan, toch wordt een ongeluk de bouwmeester nog altijd min of meer zwaar aangerekend.

LOUIS NAVIER schreef eens: „Entreprendre un grand ouvrage et surtout un grand ouvrage d'un genre nouveau, c'est faire un essai; c'est engager avec les forces naturelles une lutte dont on n'est point assuré de sortir vainqueur dès la première attaque”. Ge weet welke tegenslag NAVIER heeft gehad met zijn als hangbrug ontworpen Pont des Invalides over de Seine te Parijs.

Toch kunnen ongelukken, hoe betreurenswaardig op zichzelf, er in belangrijke mate toe bijdragen, ons inzicht in het gedrag van onze bouwconstructies te verdiepen, vooral wanneer over goede gegevens kan worden beschikt.

Over een tweetal catastrofes, die door toevallige omstandigheden fotografisch konden worden vastgelegd, zou ik U iets willen vertellen.

De eerste betreft de instorting van de 98 m hoge oude campanile te Venetië in 1902. Op het moment van de instorting werd een foto genomen, zodat de grote verticale scheuren te zien waren, welke tijdens het ongeluk optraden. Deze verticale scheuren komen in eerste aanleg in vele torens voor. Voor één van de kerktorens in ons land werd de oorzaak van deze scheuren door de werkgroep Staal en Beton van TNO onderzocht. Gevonden werd, dat de primaire oorzaak – ook bij de oude campanile – moet worden gezocht in de ongunstige spanningsverdeling bij discontinue doorsnede-varianten ten gevolge van de architectonische vormgeving. Deze spanningsverdeling kon worden bepaald met behulp van de spanningsfunctie van AIRY, die door relaxatie numeriek werd opgelost. Zijn eenmaal scheuren gevormd, dan kunnen deze door tal van oorzaken zich verder voortzetten, waardoor tenslotte vrijstaande muurgedeelten ontstaan, die naar buiten kunnen uitknikken. „Als men,” aldus de verzuch-

ting van de Italiaanse architect CASELLI, „in plaats van zoveel te redetwisten over de esthetica in verband met de toren van San Marco, enige jaren, een maand, minstens 14 dagen, vóór de 14de juli 1902, hem van ijzeren banden had voorzien, dan zou men aan alle Italiaanse architecten de schande hebben bespaard van deze smadelijke instorting van één van onze meest geliefde monumenten.” In verband hiermede kan worden medegedeeld, dat BRUNELLESCHI reeds houten en ijzeren banden toepaste om de koepel van Santa Maria del Fiore.

Is dit een geval waarbij door tijdig ingrijpen een catastrofe had kunnen worden voorkomen, het volgende geval van betrekkelijk recente datum is er een, waaruit blijkt, hoe men bij technische werken altijd nog voor verrassingen kan komen te staan. Ik doel hier op de hangbrug over de *Puget Sound* bij Tacoma in de staat Washington, met een middenoverspanning van 855 m. De 2de juli 1940 was de brug voltooid en op 7 november daaropvolgend stortte zij in bij een windsnelheid van 18 m/sec. Van deze catastrofe bestaat zelfs een filmopname, doordat Prof. FARQUHARSON van de Universiteit van Washington, die de slingersverschijnselen van de brug sinds de inbedrijfsstelling in studie had genomen, toevallig ter plaatse aanwezig was. Men had hier te doen met een zgn. zelfaanzettende torsie-slingering van de brug tengevolge van de wind. Bij een kleine torsiebeweging van het brugdek om zijn lengteas ontstaat nl. een aerodynamisch stromingsveld, dat krachten opwekt, die de torsie versterken. Men heeft hier dus als het ware te maken met een negatieve demping, waardoor de amplituden van de opvolgende slingeringen steeds groter worden, totdat tenslotte breuk moet optreden. Door onderzoekingen in het Aerodynamisch Instituut van de E.T.H. te Zürich heeft men gevonden, dat men het bezwaar van de aerodynamische onstabieleit kan opheffen, door in het midden van de rijvloer van de brug in langsrichting een spleet aan te brengen. Gelukkig behoren ongelukken met onze bouwconstructies tegenwoordig wel tot de hoge uitzonderingen, dank zij de steeds beter wordende methoden om onze constructies te berekenen, welke zowel gebaseerd zijn op de theorie als op de ervaring en het experiment.

Reeds in de grijze oudheid was men zich bewust van de waarde der ervaring als grondslag voor iedere theorie. Zo schreef de Griekse wijsgeer ARISTOTELES reeds ± 350 v.C. in zijn geschrift „De generatio animalium”: „Men moet aan de waarneming meer geloof hechten dan aan de theorie en aan deze alleen, wanneer ze tot dezelfde resultaten voert als het verschijnsel”. Dat ook in onze eeuw deze woorden voor de wetenschapsbeoefening nog niet hun betekenis hebben verloren, bewijst de uitspraak van de Franse wiskundige en filosoof H. POINCARÉ in „La Science et l’Hypothèse”: „De ervaring is de enige bron der waarheid; zij alleen kan ons iets nieuws leren; zij alleen kan ons zekerheid verschaffen.”

Zoals we reeds zagen, kan in de techniek deze ervaring zeer goed worden

verkregen door waarneming aan uitgevoerde bouwconstructies. Men kan echter ook proeven nemen, zowel op ware grootte als op verkleinde schaal.

Natuurlijk zijn proeven op ware grootte gewoonlijk kostbaar. Toch worden ze nog dikwijls genomen, in het bijzonder wanneer door verkleining van de schaal geen voldoende nauwkeurige uitkomsten kunnen worden verkregen.

Een interessant geval van een proef op werkelijke schaal wordt medegedeeld door J. A. VAN DEN BROEK in zijn boek over Limit Design. Limit Design zou men het beste kunnen vertalen door „ontwerpen op uiterste draagkracht”. Het ging hier om vakwerkmasten voor elektrische hoogspanningsleidingen van de Hydro-Electric Power Commission of Ontario, die waren opgebouwd uit vlakke vakwerken met dubbele diagonalen. Bij het ontwerp werd ook gebruik gemaakt van de drukkrachten, welke in reeds uitgeknikte diagonalen optreden. Het ontwerp werd veroordeeld door vier vooraanstaande autoriteiten op technisch gebied. Men besloot toen de zwakste van de ontworpen masten te beproeven op ware grootte, waarbij bleek, dat deze nog een 50% grotere belasting kon dragen dan waarvoor hij was berekend. Het geheim van de toelaatbaarheid van knik in de gedrukte diagonalen was hierin gelegen, dat ze zeer slank waren. Bij gedrongen staven moet knik natuurlijk in ieder geval worden vermeden.

Een merkwaardig voorbeeld van de ontdekking van een fout in de theorie, die tientallen van jaren, ondanks zorgvuldige experimenten onopgemerkt is gebleven, is wel die betreffende de knikkraft van staven in het elastoplastisch gebied. In 1889 gaf ENGESSER zijn theorie van de tangentmodulus. In 1895 betoogde JASINSKY, dat deze theorie niet juist was en wees daarbij op het werk van CONSIDÈRE. ENGESSER erkende de fout en gaf toen zijn theorie van de gereduceerde of dubbele modulus. In 1910 bevestigde VON KÁRMÁN deze theorie aan de hand van zorgvuldig genomen proeven. Toen echter vooral in de vliegtuigbouwkunde steeds meer gebruik werd gemaakt van aluminium als constructiemateriaal, dat niet zo'n uitgesproken vloeigrens heeft als staal, vond men experimenteel een veel betere overeenstemming met de theorie van de tangentmodulus, waarvoor SHANLEY eerst in 1947 de juiste theoretische verklaring gaf. En zo keert men nu terug tot de oorspronkelijke formule, die ENGESSER reeds 60 jaar geleden heeft gegeven.

Niet altijd is het echter mogelijk onze theorie nauwkeurig aan de werkelijkheid te toetsen, hetzij omdat de onderzoeker niet over de nodige hulpmiddelen beschikt, hetzij omdat het bestudeerde object zodanig geïdealiseerd is, dat het experiment niet of bezwaarlijk kan worden verwezenlijkt. Ook kunnen zich gevallen voordoen, dat het experiment, al of niet uitvoerbaar, van zodanige klaarheid is, dat het nemen van een proef niet nodig schijnt, omdat onze intuïtie met voldoende vertrouwen het resultaat durft te voorspellen. Men krijgt dan het gedachtenexperiment – waarvan wij reeds een voorbeeld zagen bij de lift van de wolkenkrabber –, dat niet alleen in hoge mate kan bijdragen

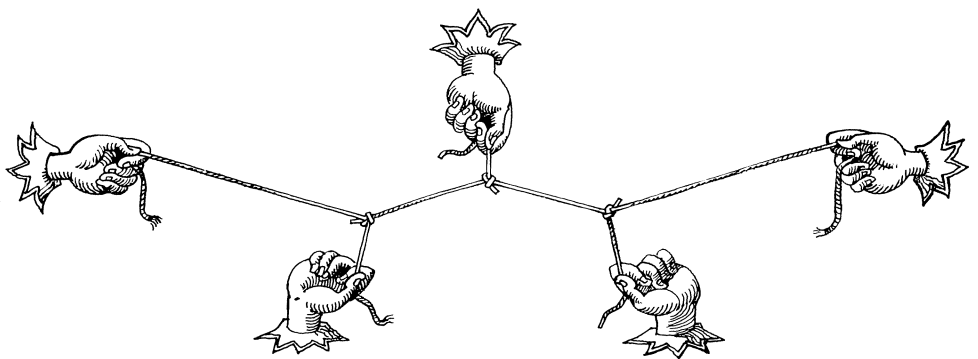
tot de oplossing van verschillende problemen, maar ook tot de algemene beheersing daarvan als parate kennis.

Vooraf voor de ingenieur, die in zijn concepties meer reëel en visueel is aangelegd dan andere beoefenaren van de wetenschap, heeft het gedachten-experiment veel aantrekkelijks. Van nature de toegepaste wetenschap dienende, moet de ingenieur van het ontwerp, dat hem toevertrouwd is, zich altijd een concrete voorstelling maken. Zijn verbeelding en intuïtie moeten zodanig zijn ontwikkeld, dat hij de te ontwerpen constructie als een visueel object voor zich ziet; dat hij door geschikte gedachtenexperimenten verschillende krachtsverdelingen en vormveranderingen kan onderscheiden en beoordelen, ten einde zo snel mogelijk tot de doelmatigste oplossing te geraken.

Bekend is hoe SIMON STEVIN kwam tot zijn beschouwingen over het evenwicht op hellende vlakken. Hij experimenteert in gedachten door een gesloten ketting, bij afwezigheid van wrijving, hangende te denken om een verticaal geplaatste driehoek met de basis horizontaal en de top naar boven. Door het afhangende symmetrische kettingstuk te verwijderen, zal het evenwicht blijkbaar niet worden verstoord, waaruit weer volgt, dat op schuine vlakken het kettinggewicht werkzaam is in een grootte, welke omgekeerd evenredig is met de lengten der schuine vlakken.

Dat STEVIN zelf aan deze vondst grote waarde hechtte, moge blijken uit het feit, dat het boven beschreven geval van de over een driehoek geslagen ketting, door hem werd gebruikt als titelvignet van zijn bekende werk: „Hypomnemata mathematica” met het bijschrift: „Wonder en is gheen wonder”.

Ge weet, dat STEVIN ook de eerste grondslagen heeft gelegd van de grafo-statica. Hierbij kan nog worden opgemerkt, dat verschillende eigenschappen van de stangenveelhoek met poolfiguur zeer eenvoudig zijn in te zien, wanneer men er een fysische betekenis aan toekent. Het tekenen van een stangenveelhoek bij een aantal in een plat vlak gelegen krachten komt dan neer op het spannen van een gewichtsloze draad, waaraan de krachten aangrijpen, waardoor de draad een vorm aanneemt, die bepaald wordt door de stralen van de poolfiguur.





Een geniaal voorbeeld van de oplossing van een mechanisch probleem, waaraan een fysisch gedachtenexperiment ten grondslag ligt, is de berekening van de brachistochroon door JOHAN BERNOULLI, waarbij hij gebruik maakt van het beginsel van FERMAT en daardoor het probleem met een oogopslag oplost, zonder gebruikmaking van variatierekening.

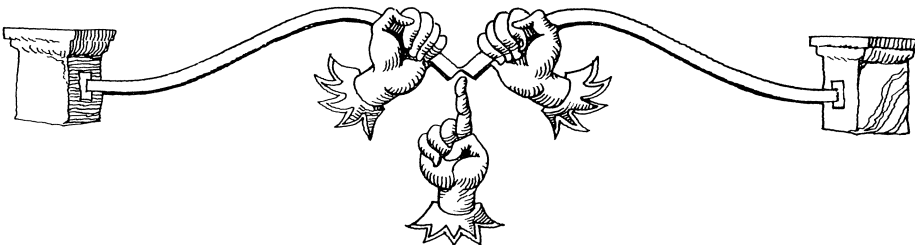
Reeds omstreeks het begin van onze jaartelling berekende HERON VAN ALEXANDRIË in het eerste deel van zijn geschrift over statica, de oplegreacties van een balk op twee steunpunten. Bij een doorgaande ligger op meerdere even hoog gelegen steunpunten worden door hem de oplegreacties berekend door de ligger ter plaatse van de opleggingen doorgesneden te denken, waardoor een rij van naast elkaar gelegen balken op twee steunpunten wordt verkregen. De oplegreacties van twee naast elkaar gelegen balken op een zelfde steunpunt, worden dan gewoon bij elkaar opgeteld.

Hier wordt blijkbaar door HERON een vergissing gemaakt, daar het gedachtenexperiment nog niet voltooid is. De gapingen, welke door de buiging in de doorgesneden ligger ontstaan ter plaatse van de opleggingen, moeten nl. nog worden gesloten door de zgn. overgangsmomenten.

Men mag HERON VAN ALEXANDRIË deze vergissing echter niet kwalijk nemen, al was het alleen hierom, dat eerst in de eerste helft van de 19de eeuw door CLAPEYRON de juiste vormveranderingsvergelijkingen werden opgesteld om deze overgangsmomenten te berekenen.

En berust de vereffeningsmethode van Cross, die zo'n grote omwenteling heeft gebracht in de berekening van statisch onbepaalde constructies en verder de stoot heeft gegeven tot de ontwikkeling van de relaxatiemethode, ook niet op een gedachtenexperiment, nl. het achtereenvolgens vasthouden en loslaten van knooppunten?

We gaan stilzwijgend voorbij aan de overige vernuftige theoretische en experimentele methoden, waarover de tegenwoordige ingenieur beschikt om zijn bouwconstructies op de juiste wijze te dimensioneren. Dat hiervoor een grondige kennis van verschillende hoofdstukken uit de wiskunde en mechanica



noodzakelijk is, spreekt wel vanzelf. Maar, zoals de oude Romeinen reeds wisten, is dit niet voldoende. Evenmin, als het mogelijk is, dat een wiskundige met behulp van de differentiaalgeometrie van ontwikkelbare oppervlakken, uit een lap laken een goed zittend rokkostuum voor heren kan knippen, evenmin is het mogelijk, dat een uitsluitende theoreticus een doelmatige bouwconstructie kan ontwerpen. Voor de ingenieur is behalve ervaring nog nodig wat VITRUVIUS genie noemt, de vindingrijke scheppende geest. Heeft men te doen met geheel nieuwe denkbeelden en constructies, dan willen wij voor de tenuitvoerlegging daarvan nog noemen: moed en volharding. Zo leest men in het grote moderne gebouw in voorgespanssen beton ten behoeve van de watervoorziening van de stad Orléans het ook in ons land bekende devies: „Il n'est pas nécessaire d'espérer pour entreprendre, ni de réussir pour persévérer”.

*Geachte toehoorderessen en toehoorders,*

We hebben gezien, dat na een bloeiperiode der techniek omstreeks het begin onzer jaartelling een teruggang is gevolgd, die tot het einde der Middeleeuwen voortduurde. Door het baanbrekende werk van GALILEI en NEWTON op het gebied der mechanica, en de uitvinding der differentiaal- en integraalrekening, werden gunstige voorwaarden geschapen voor de opkomst van een nieuwe bloeiperiode, die in het begin der 19de eeuw zich duidelijk ontwikkelde en in onze dagen met razende snelheid naar een nieuw culminatiepunt schijnt te voeren. Zal daarna wederom een teruggang volgen, overeenkomstig het verloop van zo vele cultuurperioden in het verleden? Wij weten het niet, maar wel kan worden gezegd, dat reeds lang de technische topprestaties der Oudheid verre werden overtroffen. De schipbruggen van DARIUS, XERXES en CALIGULA zijn overtroffen door de grote hangbruggen in Amerika, die afstanden tot 1275 m in één enkele overspanning overbruggen. De toestellen van het automaten-theater van HERON VAN ALEXANDRIË zijn uitgegroeid tot de geweldige stoom- en waterturbines van onze calorische en waterkrachtcentrales. De geweldebouw van de Etrusken tot onze boogbruggen in gewapend beton, waarbij een overspanning van 260 m reeds werd overschreden. De koepel van het Pantheon te Rome tot de koepel der Ontdekkingen op het Britse Festival van dit jaar, die gebouwd uit aluminium een overspanning heeft van 110 m. En de oude verkeersmiddelen tot onze oceaanreuzen, exprestreinen en straalvliegtuigen. Helaas moet echter ook worden geconstateerd, dat de Assyrische strijdswagen is uitgegroeid tot de moderne oorlogstank en de stenen van de Romeinse ballista zijn vervangen door atoombommen.

Op deze feestdag der hogeschool willen wij ons echter vooral naar de zonkant wenden, zodat de schaduwen achter ons vallen. En dan moeten wij toegeven, dat vele technische vindingen ons leven hebben verrijkt. In onze huiskamer luisteren we, door even aan een knop te draaien, naar een symfonieconcert dat

te Londen wordt gegeven. We kunnen spreken met vrienden, die honderden kilometers van ons zijn verwijderd. Op een druilerige dag stijgen we te Schiphol met een vliegtuig op en zijn enige ogenblikken later boven een machtig pool-landschap van witte wolkengevaarten onder een stralende blauwe hemel, om anderhalf uur later te Parijs te landen.

Waar eens de golven bruisten en ons land met ondergang bedreigden, staat nu het wuivende graan, beschermd door machtige dijken en een ingenieus afwateringsstelsel.

Mocht gij nog twifelen aan de zegeningen, die de techniek kan brengen, bezoek dan de tentoonstelling, die door de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde in haar gebouw werd georganiseerd bij gelegenheid van deze Hogeschooldagen en gewijd is aan de Zuiderzeewerken. In dit grootste waterbouwkundig werk ter wereld is en wordt gebruik gemaakt zowel van de nieuwste wetenschappelijke methoden als van de eeuwenoude ervaring van ons volk met zijn aangeboren intuïtie voor waterkeringsproblemen.

Helaas kan niet worden ontkend, dat de techniek in handen van onverantwoordelijke elementen licht kan worden misbruikt en als destructieve techniek zelfs een ernstig gevaar voor de mensheid kan opleveren. En daarom geloof ik, – wanneer ik thans overga tot mijn heilwensen met de verjaardag van onze hogeschool – niet beter te kunnen doen dan allereerst de wens uit te spreken, dat men er vooral in moge slagen ingenieurs op te leiden, niet alleen bekwaam in de techniek, maar ook gezond van hart en geest; die het schone in het scheppingswerk van de Opperste Bouwmeester van deze wereld weten te zien en bereid zijn dat in bescherming te nemen; ingenieurs van het edele karakter, waarvan de oude VITRUVIUS ons reeds heeft gesproken.

Hieraan zou ik nog een bijzondere wens willen toevoegen, welke betrekking heeft op ons onderwijs en . . . een voorgenomen huwelijk. Ge kijkt verwonderd, maar dan zou ik U in herinnering willen brengen, dat juist een jaar geleden van deze zelfde plaats door een woordvoerder van de Afdeling der Algemene Wetenschappen, een huwelijk werd gesuggereerd tussen de Wiskunde en de Techniek, te sluiten aan deze hogeschool. Ik kan U zeggen, dat de techniek daar in beginsel niet afzijdig tegenover staat. Evenals iedere man en ik neem thans de vrijheid de techniek te vergelijken met een energieke man en de wiskunde met een liefvallige vrouw, is de techniek wel gevoelig voor het schone en bekoorlijke. Hij waardeert bovendien een verstandige vrouw, die hem in moeilijke gevallen somtijds met raad en daad zou kunnen bijstaan. Evenals iedere man is de techniek echter ietwat huiverig van een vrouw met pretenties, die hovaardig is, verslaafd is aan spel, spreekt van een morganatische verbintenis en weinig eerbied heeft voor grootse scheppingen. Zou het rekenboek van AHMES ooit geschreven zijn, zonder de cultuurtechniek in Egypte en Mesopotamië? Zou er zelfs sprake kunnen zijn van een huwelijk op deze plaats, wanneer

de Nederlandse waterbouwkunde de Noordzee niet tijdig aan banden had gelegd?

Mijnheer de Rector Magnificus, gelukkig behoeven deze bisbilles niet al te ernstig te worden genomen; daarvoor is de wiskunde te verstandig, de techniek te vernuftig en houden ze té veel van elkaar. Daarom moge ik besluiten met de wens uit te spreken, dat partijen het spoedig eens zullen worden en het bedoelde huwelijk – met beide handen – werkelijk doorgang moge vinden. Ook zonder MENDEL durven wij dan een bloeiend nageslacht voorspellen van geesteskinderen, die een glorie zullen zijn voor onze hogeschool!

