

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO  
's-Gravenhage 13/1-64.

# HEPHAISTOS IN DE 20<sup>e</sup> EEUW

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOGLERAAR

IN DE WERKTUIGBOUWKUNDE  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL

TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 13 DECEMBER 1963

DOOR

Drs. J.H.ZAAT



*Mijne Heren Curatoren,  
Mijnheer de Secretaris van de Technische Hogeschool,  
Mijne Heren Leden van de Senaat,  
Dames en Heren Leden van de wetenschappelijke, de technische en de  
administratieve staf,  
Dames en Heren studenten van deze Technische Hogeschool  
en voorts  
Gij allen, die deze bijeenkomst met Uw aanwezigheid vereert,*

*Zeer geachte toeboorders,*

Het is mijn bedoeling om hedenmiddag bij de aanvaarding van mijn ambt als hoogleraar in de afdeling der werktuigbouwkunde met de leeropdracht „werktuigkundige materialenkunde” U een beeld te schetsen van de ontwikkeling der metaalkunde en van de plaats der metaalkunde in het ruime gebied der werktuigkunde. Vervolgens zou ik Uw aandacht willen richten op een onderzoek van negatieve verschijnselen, dat een wel zeer positieve bijdrage kan leveren aan onze economie en onze moderne technische vooruitgang en niet in het minst aan ons menselijk welzijn. Ik bedoel het onderzoek van de slijtage.

Het zal U vergaan als mij: worden wij rondgeleid in een eeuwenoud paleis, dan staan wij in bewondering voor de pracht van het bouwwerk en de schoonheid van het interieur. Maar . . . willen wij terug naar die tijd? Zouden wij ons tevreden kunnen stellen met het comfort van die tijd? Gaan wij in gedachten verder terug, dan lopen wij hopeloos vast, wanneer we ons pogen voor te stellen hoe we zouden moeten leven zonder metalen. De metalen zijn niet weg te denken uit onze beschaving. Overigens staat dat denken aan metalen niet altijd voorop bij de beleving van onze werkelijkheid. Wij aanvaardden ze veelal gedachteloos als een rechtmatig bezit. De kunde van de chirurg boeit ons meer dan de gedachte, dat hij ons zonder de beschikking over metalen niet zou kunnen helpen. Toch is dat onvoorstelbare eens realiteit geweest en die primitieve periode heeft zelfs veel langer geduurd dan onze met de metalen verrijkte beschaving. De

Homo Sapiens is volgens schattingen ruim 200.000 jaar geleden uit de biologische evolutie te voorschijn gekomen. De eerste bewuste gewaarwording van het bestaan van metalen wordt door de specialisten echter gedateerd op circa 5000 jaar voor Chr., terwijl pas sinds het begin van onze jaartelling van een echte toepassing kan worden gesproken. Gedurende meer dan 200.000 jaar heeft de mens het dus zonder metalen gesteld.

De belangrijkste gebeurtenis in de beschaving van de mens had omstreeks 8000 jaar geleden plaats, toen de mens, die als nomade leefde, ontdekte dat de zo moeizaam te verzamelen eetbare gewassen verbouwd kunnen worden en dat dieren getemd en gefokt kunnen worden. Het gevolg van deze ontdekking was, dat de mens zich ging vestigen. Hierdoor kon de beschaving zich sneller ontwikkelen zodat de mens in West-Azië ongeveer 1000 jaar later bijna alles had wat nodig is voor een beschaafd leven. Hij bouwde namelijk zijn eigen huizen en schuren, maakte gereedschappen en wapenen en weefde stoffen, waarvan de draad zelfs fijner was dan die van de huidige nylonkous. Hij had een primitieve sociale organisatie terwijl bezitsvorming en ambachten begonnen te ontstaan en oorlogen en slavernij hun intrede deden. Hij bouwde boten en vervaardigde aardewerk – voorzien van kleurrijke versieringen – dat hij in een pottenbakkersoven bakte. Deze eerste grote stap naar de huidige beschaving werd echter gezet zonder de hulp der metalen.

De grootste vondst op het gebied van de metalen had omstreeks 4300 voor Chr. plaats toen men ontdekte dat door het gloeien van bepaalde, felgekleurde stenen in de pottenbakkersoven, koper ontstond. Men kende toen reeds 1500 jaar het bestaan van koper, want het werd evenals goud en zilver in gedegen toestand in de natuur gevonden.

De verandering van steen in koper maakte een zó grote indruk op de mens, dat hij dit verschijnsel toeschreef aan de invloed van de goden en tot in de 18e eeuw na Chr. heeft men deze opvatting niet verlaten. De mens, met zijn drang naar ontdekken en kennis nemen van de mogelijkheden die de natuur hem biedt, begon te proberen welke andere stenen hij óók tot metalen kon omtoveren. Het resultaat was in de loop van 3500 jaar niet ongunstig. Het lukte hem n.l. op deze wijze de hem volledig onbekende metalen lood, tin, ijzer en kwik te bereiden uit steen. Verder was hij in staat zilver en koper, dat in kleine hoeveelheden gedegen in de natuur voorkomt, in veel grotere hoeveelheden te bereiden uit gesteente. Hij beschikte dan ook om-

streeks 800 v. Chr. over goud en de zojuist genoemde zes metalen. Hij had ook geleerd dat hij een harder en beter bruikbaar metaal kreeg wanneer hij bij de koperbereiding een bepaald gesteente n.l. tinerts toevoegde. Maar ondanks al deze verworvenheden bleef de mens vasthouden aan steen, hout en been voor het maken van zijn gereedschappen en wapenen. Hij maakte slechts weinig nuttig gebruik van de metalen. Wel werden metalen toegepast voor sieraden, kunstvoorwerpen, vaatwerk, handgereedschap, speerpunten en exclusieve wapenrustingen. Zo beschrijft Homerus omstreeks 800 voor Chr. in de *Ilias* in het 18e boek, hoe de manke, zeer beminnelijke god Hephaistos, de god met de twee rechterhanden, op verzoek van de godin Thetis, een wapenrusting voor haar zoon Achilles maakt. Achilles had zijn wapenrusting namelijk aan Patroklos uitgeleend en Patroklos was in de strijd om Troje gesneuveld. De wapenrusting was, zoals destijds gewoonte was, buitgemaakt door de overwinnaar Hektor, zodat Achilles een nieuwe wapenrusting nodig had om Patroklos te kunnen wreken. Hephaistos wordt door Homerus beschreven als een smid die het zwaarste aambeeld kan verzetten, maar die ook de fijnste sieraden kan vervaardigen. Hij heeft daarvoor juist die twee rechterhanden. Hij is een man van orde en netheid, die zijn gereedschappen steeds consciëntieus opbergt in een zilveren kist en die zich afsponst voordat hij naar huis gaat. Daar hij mank is, heeft hij twee gouden robots gemaakt, die hem ondersteunen bij het gaan. Deze robots hebben de gestalte van meisjes en zijn begiftigd met verstand, stem en kracht. Zij kunnen weven en borduren zoals in de oudheid een goede vrouw betaamde. Door deze beschrijving spreekt Homerus zijn verbazing uit over de wonderen der techniek. Hij beschrijft het werk van Hephaistos zó, dat de lezer de wapenrusting ziet ontstaan in volle pracht en schoonheid. Zij wordt echter geheel van non-ferrometaal gemaakt, dus niet van staal. Het is mogelijk dat Homerus zijn Hephaistos het staal niet liet toepassen, omdat men het harden van staal nog niet kende, zodat brons een betere bescherming bood in de strijd om het recht. Om dezelfde reden werd de ploegschaar nog steeds van steen gemaakt en had het metaal nog geen plaats gevonden in de werktuigen.

Dit werd anders toen de mens omstreeks 800 v. Chr. de uiterst belangrijke ontdekking deed, dat staal hard te maken is door het enige tijd in een houtskoolvuur te houden en daarna onder te dompelen in water. Zoals wij tegenwoordig nog steeds ervaren, is het harden een moeilijk proces, dat alleen goede resultaten oplevert, als de procesomstandigheden nauwkeurig worden aangehouden. Daar men des-

tijds de benodigde meetinstrumenten niet bezat, werd het harden een dubieuze zaak, zodat het niet te verwonderen is, dat een goed zwaard een legende werd en dat de smid als een magiër en een vertegenwoordiger der goden werd beschouwd. Door de ontdekking van het harden heeft het staal echter in onze beschaving een positie bereikt waaruit het nooit meer is verdrongen.

Na de val van het Romeinse Rijk ontstond een grote stilstand in de ontwikkeling, ja zelfs op vele gebieden een achteruitgang. Om U een voorbeeld te geven herinner ik aan het feit dat het tot de tijd van Napoleon heeft moeten duren voordat men weer dezelfde transportsnelheid over de weg heeft kunnen bereiken, die de Romeinen wisten te organiseren.

Zo werd in de metaalkunde de volgende belangrijke stap pas omstreeks 1350 gezet, toen de vervaardiging van het ruw ijzer in een primitieve hoogoven werd uitgevonden.

Ook omstreeks 1550 was de kennis der metalen toch nog zeer beperkt zoals duidelijk te lezen is uit de geschriften van AGRICOLA (1494-1555) en BIRINGUCCIO (1480-1539). Men had bijvoorbeeld op dat moment nog niet begrepen dat zink het legeringselement is, dat nodig is om uit koper messing te kunnen maken, hoewel messing toch reeds 1600 jaar werd geproduceerd en gebruikt.

Het heeft tot in de 18e eeuw moeten duren voordat de eerste stappen werden ondernomen om de met magie omgeven metaalkunst in een metaalkunde te doen veranderen en daardoor tot een rationele beheersing en toepassing van de metalen te komen. Degene die dit tijdperk inluidde, was de grote natuurkundige REAUMUR (1683-1757), die in 1722 reeds begreep dat stål bestaat uit ijzer en een daarin opgenomen stof. Hij zag in dat door de hoeveelheid daarin opgenomen stof het verschil tussen zacht staal, hard staal en ruw ijzer te verklaren moet zijn. Dat deze stof koolstof was, dat wist REAUMUR niet. Dit werd in 1781 door de Zweed BERGMAN (1735-1784) ontdekt. Na deze eerste injectie van de natuurkunde in de metaalkunst volgen steeds meer injecties, die tenslotte leiden tot de continue stroom, waardoor de metaalkunde zich tenslotte ontwikkelt tot een fundamentele studie zoals deze in onze huidige tijd wordt bedreven. De binding tussen de metaalkunst en de natuurwetenschap werd mogelijk, doordat de natuurwetenschap zelf een eigen plaats begon te krijgen onder de wetenschappen, wat vooral gestimuleerd werd door de oprichting van wetenschappelijke genootschappen op het eind van de 17e eeuw,

zoals de Royal Society, de Académie des Sciences en de Akademie der Wissenschaften.

Een belangrijke stimulans voor de ontwikkeling der metaalkunde kwam tevens voort uit de sterk veranderde geesteshouding. De natuurkrachten waren niet meer zoals voordien verschijnselen van een bovennatuurlijke macht; zij werden gesecculariseerd. De wens en behoefte ontstonden om de in de natuur latent aanwezige energie arbeid te laten verrichten ten dienste van de mens.

Dit leidde tot de z.g. industriële revolutie, die omstreeks 1750 inzette en die de opkomst inluidde van de moderne wereld van machine en techniek. Zeer spoedig bleek dat de kennis der metalen volkomen ontoereikend was om te kunnen voldoen aan de door de techniek gestelde eisen. Omdat de metalen onbetrouwbaar bleken, werd de constructie in het begin daarom nog steeds in hout uitgevoerd. Bij verdere opvoering van het vermogen en het rendement der machines bleek metaal echter het aangewezen materiaal te zijn om de machines goed te doen functioneren.

De eigenschappen der metalen moesten echter beter bekend zijn, zodat keuringsmethoden werden ontworpen. Zo demonstreerde de natuurkundige PIETER VAN MUSSCHENBROEK (1692-1761) in zijn colleges te Leiden omstreeks 1750 een toestel om de sterkte van hout, glas en metalen te meten. Ruim een eeuw later, in de tweede helft van de 19e eeuw, kwam staal in zeer grote hoeveelheid ter beschikking, doordat de staalbereidingsprocessen waren uitgevonden. Behalve het ontwerpen van keuringsmethoden was een verdieping van het inzicht in de eigenschappen van de metalen nodig. Een belangrijke bijdrage hiertoe heeft de verscherping van de waarneming geleverd. De studie van de structuur der metalen kwam echter pas goed op gang toen het microscoop in de tweede helft van de 19e eeuw werd ingeschakeld. Vooral SORBY heeft sinds 1887 een zeer belangrijk aandeel geleverd in de metallografie d.w.z. de visuele bestudering van de structuur. In de moderne tijd is de waarneming aanzienlijk verbeterd, doordat verschillende microscopische waarnemingstechnieken mogelijk zijn geworden, die momenteel culmineren in het elektronenmicroscoop, dat geldt als een normaal onderdeel in de uitrusting van een metaalkundig laboratorium.

Aan het eind van de 19e eeuw kwam men tot het inzicht dat een legering van twee of meer elementen in verschillende fasen voor kan komen. Om een beeld te krijgen van de fasen die in evenwichtstoestand kunnen optreden, werden en worden nog steeds z.g. evenwichtsdiagrammen opgesteld. Onze landgenoot BAKHUIS-ROZENBOOM

stelde in 1900 als eerste het evenwichtsdiagram van het stelsel ijzer-koolstof op. Dat betekende een grote vooruitgang voor het begrip van de warmtebehandeling van staal.

Het evenwichtsdiagram stelt echter niet in staat om de structuurveranderingen bij grotere afkoelsnelheden te begrijpen. Daarom hebben BAIN en DAVENPORT diagrammen opgesteld die de omzetting als functie van tijd en temperatuur aangeven. Deze diagrammen hebben ertoe geleid, dat nieuwe warmtebehandelingen konden worden ingevoerd waardoor de eigenschappen van het metaal gunstiger werden dan voordien.

In het begin van de 20e eeuw begon het inzicht in de opbouw der materie en der atomen gestalte te krijgen en ontstond de behoefte meer te weten over de processen van stollen, transformeren, deformeren en breken. Röntgenstralen verschaften informatie over de plaatsing der atomen in het metaalrooster. Maar omdat de eigenschappen van het metaal ook afhankelijk zijn van de structuur, was het bovendien gewenst meer inzicht te verwerven in de structuur. Zoals iedereen tegenwoordig weet, zijn de atomen de fundamentele eenheden waaruit het metaal is opgebouwd. Zij bepalen met de plaatsing in het rooster en de structurele opbouw van het metaal alle fysische, mechanische en chemische eigenschappen. De meeste eigenschappen der metalen die van belang zijn voor de werktuigbouwkunde, blijken sterk gevoelig te zijn voor relatief kleine veranderingen in de structuur en de samenstelling. Kristalgrenzen en andere structuurfouten spelen een zeer belangrijke rol

Hoewel reeds 7000 jaar bekend was, dat metalen plastisch te deformeren zijn, heeft het tot 1934 geduurd voordat de theoretische basis gelegd werd om het mechanisme der plastische vervorming te begrijpen. TAYLOR, OROWAN en POLANYI introduceerden toen het begrip roosterfout en dislocatie. De theorie, die zich aanvankelijk langzaam ontwikkelde, leidde tenslotte tot de verklaring van de fenomenen, die verband houden met de verplaatsing van de atomen in het rooster zoals bijvoorbeeld diffusie, deformatie, kruip, herstel en rekristallisatie. In 1954 werd door het Cavendish-laboratorium het experimentele bewijs geleverd, dat in de metalen dislocaties aanwezig zijn en dat deze onder invloed van deformatie gaan lopen. Deze studie werd verricht door dunne metaallaagjes in het elektronenmicroscop te doorstralen.

Het blijkt echter nog niet mogelijk de eigenschappen der metalen ten behoeve van werktuigkundige toepassingen exact te bepalen uit alleen de karakteristieke eigenschappen der atomen. De huidige metaal-



kunde stelt ons wel in staat zeer vele voor de werktuigbouw belangrijke eigenschappen met een getalwaarde te beschrijven.

In de 19e eeuw gold nog, als variatie op een bekende uitdrukking, de uitroep: „Hephaistos, zegen de greep!” De smid deed namelijk de materiaalkeuze als het ontwerp klaar was. Dit ligt heden ten dage geheel anders. De materiaalkeuze speelt reeds in het ontwerpstadium mee in competitie met de andere pijlers der werktuigkunde namelijk de mechanica en de fysica van warmte en stroming. De zwarte handen van de smid van vroeger zijn nu vervangen door de grijze hersenmassa die reeds in het ontwerpstadium in het spel betrokken wordt. De oude vraag naar de materiaalkeuze, die sinds de industriële revolutie was opgekomen wordt nu in een enigszins gewijzigde vorm gesteld, namelijk „Hoe komt men tot een verantwoorde keuze van het materiaal voor de bouw van tuig dat voor ons werkt?” Deze verantwoorde keuze betekent dat het materiaal niet alleen aan de constructieve eisen moet voldoen, maar ook dat het wat vervaardiging en bewerking betreft gunstig moet zijn en dat het bovendien economisch verantwoord moet zijn. De materiaalkeuze is tenslotte – zoals de gehele constructie – een kwestie van optimaliseren en vooral een kwestie van compromis.

Naarmate het probleem ingewikkelder is, wordt voor een verantwoorde keuze een grotere kennis vereist. Vandaar dat momenteel meer research wordt verricht aan de materiaalkeuze ten behoeve van kerntechniek en ruimtevaart dan voor alle andere verbruikersgroepen samen, hoewel de markt voor deze nieuwe ontwikkelingen slechts een klein percentage omvat van de totale produktie. Zo werkt in de V.S. slechts 0,1 procent van de metaalindustrie voor de ruimtevaart. Aan de materialen worden echter vele, tegenstrijdige eisen gesteld wat betreft mechanische eigenschappen, werktemperatuur, smeltpunt, taaiheid, chemische bestendigheid en bewerkbaarheid. Ten behoeve van de ruimtevaart heeft men verder het liefste metaal met het soortelijk gewicht nul. Men is op zoek naar het element „Unobtainium” zoals een Amerikaan het uitdrukte.

Zo bedragen de temperaturen op enige delen van de ballistische raketten bij hun slechts een deel van een minuut durende terugkeer in de dampkring 5000° C. De bekende Mercury-ruimtecapsule beweegt zich voordat hij landt gedurende enkele minuten door de atmosfeer, waarbij de temperatuur van de beschermplaat oploopt tot ca. 2000° C. In aardse begrippen vertaald betekent dit dat de ruimtevaarder beschermd moet worden tegen de warmtestroom van vele lasvlammen. De beschermplaat moet de ruimtevaarder dus behoeden voor een

thermische dood. Als oplossing heeft men een gesinterde beryllium-schijf van 7,5 cm dikte gekozen, omdat deze de gedurende korte tijd ontwikkelde warmte op kan nemen, een laag soortelijk gewicht heeft en kan voldoen aan de constructieve eisen, ook bij de verhitting.

De huidige materiaalkeuze in de ruimtevaart betekent echter een behelpen, zodat het onderzoek naar betere materialen onverminderd wordt voortgezet. Daarnaast wordt ook naar verbetering van de constructie gezocht om het gewicht van het vaartuig ook op deze wijze omlaag te kunnen brengen met behoud van stijfheid en stabiliteit. Een niet te overwinnen fysische grens blijft het smeltpunt van de metalen. Vandaar dat de hoogsmeltende metalen en niet-metalen momenteel in het middelpunt van belangstelling staan. Men tracht deze zover te ontwikkelen dat het mogelijk zal zijn ze te gebruiken tot een bedrijfstemperatuur die 80 tot 90 procent van het smeltpunt bedraagt. Ook in de kerntechniek moet men zich behelpen met metalen, waarvan men de beperktheid grotendeels of slechts ten dele kent. Hierdoor is men genoodzaakt voor een dergelijk miljardenproject een beperkte levensduur te accepteren van ten hoogste 20 jaar.

Alles bijeen genomen blijkt de beoordeling van de bruikbaarheid van een metaal alsmede de ontwikkeling van nieuwe metalen voor nieuwe constructies een zeer gecompliceerde zaak. Hierbij kan men niet de houding aannemen van degene, die een kanaalzwemmer na een succesvolle overtocht begroet met de woorden: „Tjonge, wist U niet dat U per boot kunt gaan?” Voor de materiaalkeuze vaart namelijk geen boot. De werktuigkundige constructie moet steeds door het water der materiaalkunde heen. De constructie eist een verantwoorde keuze van de metalen voor de verschillende onderdelen en de kennis der metalen is de basis voor die beslissing.

#### *Dames en Heren,*

De mens heeft het altijd reeds als een onvermijdelijkheid aanvaard, dat de gebruiksvoorwerpen die hij zich maakte, een beperkte levensduur bezaten. Momenteel is men er zich echter van bewust dat de levensduur van de moderne technische verworvenheden slechts beperkt kán zijn omdat wij beperkt zijn in de keuze der materialen en omdat de processen die de korte levensduur bepalen, slechts ten dele bekend zijn.

Naast de beheersing der metalen is daarom een studie van de factoren die de korte levensduur veroorzaken, alleszins gerechtvaardigd. Ik zal U dit nader toelichten. We moeten ons dan eerst afvragen: waardoor wordt de levensduur van een werktuig, apparaat of constructie be-

paald? Welnu, de levensduur wordt behalve door breuk tengevolge van overbelasting of tengevolge van andere gewelddadige oorzaken bepaald door verschillende langzaam werkende factoren, namelijk kruip en vermoeiing, chemische aantasting (corrosie) en slijtage. Daar de slijtage het hoofdonderwerp zal uitmaken van mijn speurwerk aan onze Hogeschool, zal ik alleen dit punt nader belichten.

U allen is de manchet van de hemdsmouw bekend, die na enige tijd versleten is, terwijl de rest van het overhemd in zeer goede staat verkeert. Het hemd is echter onbruikbaar geworden, te meer daar de rafels zo opvallen. Toch is minder dan 0,1 procent van het hemdgewicht verdwenen. BORNEMANN van het Stevens Institute of Technology geeft ook een voorbeeld van een dergelijke disharmonie tussen een totale onbruikbaarheid en een nauwelijks aangetaste totaliteit: een grote vrachtauto die geheel versleten is, heeft slechts 2 kg van zijn gewicht verloren, d.w.z. circa 0,1 procent. Bij minder ingewikkelde of minder in het oog lopende produkten mag in het algemeen een grotere slijtage optreden voordat de zaak onbruikbaar wordt. Zo wordt bij remblokken een slijtage van enkele tientallen procenten toegestaan. Het blijkt dus dat de hoeveelheid toelaatbare slijtage zeer sterk afhankelijk is van het gebruiksdoel en van de constructie van het slijtende voorwerp.

Snijgereedschap is onbruikbaar geworden wanneer de snijkwaliteit sterk is teruggelopen. Voorbeelden hiervan zijn onze keukenmessen, scheermesjes en snijgereedschap voor de metaalbewerking. Het verlies van snijkwaliteit leidt tot verslechtering van de oppervlaktekwaliteit van het bewerkte produkt en tot stagnatie in het bedrijf. Het zou veel economischer zijn, wanneer slijtage niet zo eenzijdig op vitale punten optrad. Wij zouden er vrede mee kunnen hebben, dat een overhemd „totaal versleten” was, indien het werkelijk totaal had uitgediend, dus niet alleen aan de manchetten, maar ook aan de ellebogen, het boordje en de panden. Een snijgereedschap moest pas bot worden, als het totale gewicht beneden het toelaatbare minimum was gedaald.

De beheersing van de slijtage wordt des te dwingender naarmate het mensenleven hierbij meer betrokken is. Dit geldt vooral voor het luchtverkeer, de ruimtevaart en kernreactoren. Een overmatige slijtage van bepaalde vitale onderdelen kan desastreuze gevolgen hebben en veel mensenlevens kosten. Ten behoeve van dergelijke installaties moet men daarom beschikken over kwantitatieve gegevens van de optredende slijtage, opdat men een nauwkeurig revisiepro-

gramma kan opstellen. Dit veronderstelt dus dat men het slijtagegedrag nauwkeurig moet kennen.

Alvorens tot nadere bespreking van de slijtage over te gaan lijkt het mij nuttig iets te zeggen over het economisch belang van de slijtagevermindering. Uitgaande van gegevens van KNEHER UND WAHL (1943) en van BLOK (1953) komt men tot de verontrustende conclusie, dat in de geïndustrialiseerde landen circa de helft van het nationaal inkomen opgesoupeerd zou worden voor vervanging van kapitaals- en consumptiegoederen, die door diverse soorten van materiële schade onbruikbaar zijn geworden. Zoals BLOK vermeldt, omvat deze schade: breuk, corrosie, slijtage, bederf, vraat door ongedierte, verspilling, brand en schipbreuk.

Een schatting van de totale jaarlijkse kosten tengevolge van slijtage is moeilijk te maken. Het is echter wel duidelijk, dat bij ons nationaal inkomen van circa 37 miljard gulden hiermee enorme bedragen gemoeid zijn. Hierbij komen nog de indirecte kosten tengevolge van door slijtage veroorzaakte bedrijfsstagnatie. Het ziet ernaar uit, dat de verliezen door slijtage enige malen – misschien wel 4 à 5 maal – groter zijn dan de totale uitgaven voor spur- en ontwikkelingswerk. Deze laatste bedroegen in 1959 1,6 procent van het nationaal inkomen ofwel 535 miljoen gulden.

Het is dus een groot economisch belang de aandacht te richten op een vermindering van de slijtage. De bedragen die hierdoor ter beschikking komen, kunnen worden aangewend voor de uitbreiding van de voorraad kapitaalgoederen. Verder wordt het mogelijk meer te produceren en tegen lagere kosten produkten te leveren, waardoor de concurrentiepositie op de wereldmarkt beter wordt en het mogelijk is onze levensstandaard op te voeren.

Het is alleszins gerechtvaardigd, dat meer aandacht wordt besteed aan de vermindering der materiële schade in het algemeen. Er dient dan ook te worden nagegaan welke van de genoemde schadegevallen de grootste invloed heeft opdat het accent van de bestrijding daar wordt gelegd waar deze economisch het belangrijkste is.

Hoe zou men slijtage nu kunnen definiëren?

Slijtage is steeds een ongewenst proces. Het is verder een langzaam verlopend proces. Alle schadevormen door gewelddadige breuk vallen daar dus niet onder. Zo is het optreden van brosse breuk, zoals deze bij de Liberty-schepen voorkwam, of het breken van de gloeidraad van een lamp door stoten geen vorm van slijtage. Slijtage is verder een

proces, dat door het gebruik optreedt. Het is duidelijk, dat een radio-toestel dat bij het eerste inschakelen door kortsluiting niet meer speelt, niet is versleten. Door slijtage wordt tenslotte de bruikbaarheid van een voorwerp verminderd.

Men zou slijtage in het algemeen kunnen definiëren als: *een ongewenste, langzame, door het gebruik veroorzaakte, vermindering van de bruikbaarheid van een voorwerp.*

De mechanische slijtage die in de techniek optreedt, is scherper bepaald. Mechanische slijtage beperken we tot die slijtage, waarbij:

- a. minstens twee materialen betrokken zijn;
- b. de materialen mechanisch op elkaar inwerken;
- c. bovendien fysische, chemische of elektro-chemische processen op kunnen treden.

De mechanische slijtage kan daarom worden gedefinieerd als: *een langzame, ongewenste, door het gebruik veroorzaakte, blijvende verandering van de afmetingen van een voorwerp tengevolge van de zuiver mechanische inwerking van een ander materiaal, eventueel gepaard gaande met fysische, chemische of elektro-chemische processen.* De mechanische slijtage vindt steeds plaats aan het oppervlak of in de oppervlaktezone der materialen, zodat de oppervlakte-eigenschappen bijzonder belangrijk zijn.

Is het nu mogelijk om met eenvoudige proefopstellingen een goede indruk te krijgen van de te verwachten slijtage? Helaas, slijtage ontstaat in het algemeen bij een zeer onoverzichtelijk samenspel van velerlei factoren, die veelal niet alle bekend zijn. De opvatting dat een eenvoudige laboratoriumproef voorspellingen kan doen voor praktische gevallen, is daarom bijzonder gevaarlijk, omdat men in het laboratorium de bedrijfsomstandigheden niet precies kan nabootsen en omdat men alle bedrijfsomstandigheden meestal niet kent.

Het blijft echter wel zinvol slijtageonderzoek te verrichten aan eenvoudige systemen, die volledig gecontroleerd en programmatisch gevarieerd kunnen worden. Met deze wetenschappelijke aanpak is het mogelijk het mechanisme van de slijtage te bestuderen, om tenslotte te kunnen bepalen hoe het materiaaltransport wordt ingezet en gecontinueerd. Op deze wijze is het ook mogelijk te onderzoeken, wat de invloeden zijn van materialen, belasting, snelheid, temperatuur, oppervlakte-eigenschappen, milieu, vorm, dimensies enz. Momenteel verkeert het onderzoek weliswaar nog sterk in het fenomenologische stadium en is het nog veelal een tasten; de meer wetenschappelijke

aanpak begint zich echter steeds meer door te zetten, hoewel op het vasteland van Europa het slijtageonderzoek zich vrijwel overal nog in een rudimentair stadium bevindt.

Er zijn verschillende eenvoudige slijtageprocessen te onderscheiden. Een van de belangrijkste is de zgn. adhesieve slijtage. Wanneer twee materialen over elkaar glijden, kan plaatselijk een aan elkaar wellen ontstaan van bepaalde oppervlaktedelen, die elkaar zo dicht genaderd zijn, dat de atomen in elkaars invloedssfeer komen. Daar op het oppervlak ook bij zeer zorgvuldig polijsten steeds oneffenheden voorkomen, vindt het contact voornamelijk plaats aan de toppen van de hoogste oneffenheden van de oppervlakken. De gehele belasting rust dan op deze kleine contactoppervlakken, zodat de plaatselijke drukken zeer hoog zijn. Tengevolge van de wrijving bij de relatieve beweging ontstaat daar ter plaatse een hoge contacttemperatuur, waardoor het aan elkaar lassen sterk bevorderd wordt, terwijl de mechanische eigenschappen van het metaal daar ter plaatse sterk worden beïnvloed. Er ontstaat een zgn. brugverbinding. Deze kan zo sterk zijn, dat bij verder bewegen van de oppervlakken ten opzichte van elkaar een deeltje uit het ene materiaal wordt gerukt en wordt meegenomen door het andere.

Of dit zal gebeuren hangt af van de omstandigheden waaronder de brugverbinding en haar directe omgeving op dit moment verkeren en van het gedrag op dat punt onder de dynamische belasting. Heeft deze eerste overdracht eenmaal plaats gehad, dan treedt geen contact meer op tussen de twee oorspronkelijke materialen, maar tussen het overgedragen metaal en het overdragende. Door dergelijk contact vindt steeds meer overdracht plaats. Het overgedragen materiaal groeit aan tot bepaalde afmetingen en wordt tenslotte afgestoten in de vorm van slijtagedeeltjes. Het opmerkelijke bij dit proces is dus, dat de slijtagedeeltjes niet direct ontstaan maar via een overdracht op het contralichaam.

Het besproken proces is de eenvoudigste vorm van overdracht, want het geheel verloopt metallisch. Het is ook mogelijk, dat gelijktijdig oxidatie optreedt. Dit kan ertoe leiden, dat na de eerste metallische overdracht oxidatie plaats vindt, waardoor de slijtagedeeltjes tenslotte in oxidevorm optreden. Zo zijn er nog andere mogelijkheden.

Uit het voorafgaande blijkt wel dat het aan elkaar wellen de inleiding is tot het adhesieve slijtageproces. De remedie om deze slijtage te voorkomen moet derhalve gezocht worden in het verhinderen van me-

tallich contact. Dit kan gebeuren door een oppervlaktehuidje aan te brengen, dat onder de rigoureuze omstandigheden aan de toppen van de oneffenheden niet wordt verwijderd. De natuur helpt hier zelf al door een oxidehuid te vormen. Deze huid wordt onder bepaalde omstandigheden echter gemakkelijk doorbroken. Een andere mogelijkheid is het aanbrengen van een vloeistoffilm in de vorm van een smeermiddel. Dit voldoet in veel gevallen ook nog niet voldoende, vandaar dat men andere wegen heeft ingeslagen. Door chemische toevoegingen die het lassen tegengaan, heeft men de zgn. hogedruk-smeermiddelen ontwikkeld, die een uitgebreide toepassing hebben gevonden. De slijtage kan ook sterk verminderd worden door beschermende lagen aan te brengen die verkregen worden door verschillende oppervlaktebehandelingen, zoals bijvoorbeeld fosfateren, diffusiegloeien, opspuiten, oplassen en galvanisch opbrengen. Hard verchromen, nitreren en cementeren zijn hier voorbeelden van. In die gevallen, waar geen merkbare slijtage op mag treden en waar een smeermiddel niet mogelijk is, zoals bijvoorbeeld bij de ruimtevaart, moet een andere bescherming tegen deze slijtage worden gevonden. Hier bieden dunne metaallagen de uitkomst. Er zijn namelijk metaalcombinaties die niet tot brugverbinding neigen. Bekende voorbeelden hiervan zijn de combinaties ijzer en zilver, ijzer en cadmium, ijzer en lood en ijzer en bismut. Hierbij moet echter wel aangetekend worden, dat het nog niet mogelijk is de lagen tijdens het gebruik te vernieuwen, wanneer zij door andere processen, zoals bijvoorbeeld abrasie of erosie, zouden wegslijten. Verder is het vereist, dat de aangebrachte lagen goed hechten.

Het voordeel van de beschermende oppervlaktelagen is zeer groot. Met behoud van de eigenschappen van het grondmetaal ten behoeve van de constructie kan de levensduur van de constructie aanzienlijk worden verhoogd.

Uit onderzoeken, die ik bij het Metaalinstituut T.N.O. heb mogen verrichten, is zeer duidelijk gebleken, dat de milieu-omstandigheden van primair belang zijn voor de aard van het slijtageproces. Pas toen de milieusamenstelling zeer nauwkeurig constant werd gehouden, was het mogelijk reproduceerbare resultaten te verkrijgen. Hiermee was de weg geopend om een onderzoek te starten naar de slijtageprocessen en naar de invloed van de milieu-componenten. Bij een dergelijk onderzoek werd o.a. geconstateerd, dat de aard van het oxide dat gevormd wordt, van grote invloed is op de aard van het slijtageproces. De voortzetting van deze studies moet zeer stelselmatig geschieden en eist de

wetenschappelijke sfeer van een researchinstituut. Het slijtageprobleem is, zoals ik reeds vermeldde, zeer complex zodat een team van academici van verschillende disciplines zich hieraan moet wijden.

Wel dient opgemerkt te worden, dat het in de praktijk vrijwel nooit gaat om één enkel slijtageproces, doch dat verschillende processen naast of na elkaar optreden. Het is daarom niet mogelijk in het laboratorium een praktijkgeval van slijtage na te bootsen door gebruik te maken van laboratoriumopstellingen die niet in alle opzichten overeenstemmen met dat praktijkgeval. De slijtage wordt namelijk niet alleen bepaald door de materiaalkeuze en de keuze van het smeermiddel en smeersysteem; ook de constructie speelt een belangrijke rol, in dien zin dat trillingen, plaatselijke versnellingen of vertragingen, schrankingen en dergelijke een belangrijke invloed kunnen hebben. Daarnaast spelen dikwijls toevallige factoren een grote rol.

Een voorbeeld hiervan wil ik U niet onthouden. Op nieuw ontworpen autobussen werd een nieuw soort motor geplaatst. Deze motoren werden op de proefstand qua slijtage als normaal gekwalificeerd. Toen de autobussen in gebruik waren genomen, bleek de motor echter in bijzonder korte tijd versleten te zijn en volkomen onbruikbaar. Na zeer lang zoeken vond men, dat de inlaat van de luchtfilter van de motor zo geplaatst was, dat hij zich in de stofwervel achter de bus bevond. Toen men de inlaat verplaatst had, vertoonde de motor het normale slijtagebeeld.

Hoewel men dus gewapend was met de ervaring op de proefstand, bleek een onverwachte factor in het spel te zijn, die desastreus was voor de motor. Dit is precies de situatie van Achilles, die zich wapende met de door Hephaistos vervaardigde wapenrusting en die niettemin gedood werd, namelijk door een pijl die Paris hem in de hiel schoot, de enige plaats waar Achilles wondbaar was. Ter bestrijding van de mechanische slijtage dienen wij ons te wapenen met zoveel mogelijk kennis van en inzicht in de processen, hoewel wij er steeds op bedacht moeten zijn dat er factoren zijn, die wij niet kennen of niet onderkend hebben.

Er staan ons de volgende wegen open om de strijd tegen de slijtage aan te binden.

1. In de eerste plaats dient er een diepgaand fundamenteel onderzoek verricht te worden van de verschillende slijtageprocessen, waarbij bijzondere aandacht moet worden besteed aan het mechanisme van de materiaalverwijdering. Daarbij moet de invloed van milieu, temperatuur, structuur, belasting en snelheid op het verloop van het proces



nader worden bestudeerd. Deze onderzoeken moeten worden verricht aan polykristallijn materiaal en aan éénkristallen. In verband met de ontwikkeling van de ruimtevaart zullen ook de metalen met een hoog smeltpunt en een grote weerstand tegen hitte en de keramische materialen onderzocht moeten worden. Verder dienen ook de verschillende methoden van oppervlaktebehandeling te worden beschouwd.

2. De slijtage van belangrijke technische constructies dient geanalyseerd te worden, opdat we weten welke slijtageprocessen optreden en welke de wisselwerking van deze slijtageprocessen is. Hierdoor wordt het mogelijk de gevaarlijke factoren op te sporen en te bepalen welke slijtageprocessen bij interactie een plus-effect vertonen.

3. Er dienen ook semi-technische tot technische laboratoriumproeven opgesteld te worden om aan de hand van de genoemde analyse van de technische constructie te onderzoeken hoe de slijtage verminderd zou kunnen worden door verandering van de vorm, verbetering van de mechanica van het systeem, verandering van de milieu-omstandigheden, verandering van de oppervlakte-eigenschappen en vooral door vermindering van het mechanische contact. Hier is samenwerking nodig tussen de constructeur en de slijtagedeskundige met als doel de levensduur van een constructie op te voeren.

4. Behalve deze samenwerking tussen constructeur en slijtagedeskundige is ook een nauw contact tussen de slijtagedeskundigen onderling – zowel nationaal als internationaal – van het allergrootste belang.

Dit heeft men in de OECD-landen reeds ingezien. Op initiatief van Nederland is namelijk een werkgroep „Wear on engineering materials” gevormd. Deze groep omvat specialisten uit de V.S., Canada, Engeland, en de OECD-landen op het Europese continent en streeft naar coördinatie en coöperatie, gemeenschappelijke benadering van bepaalde problemen en naar onderlinge verstaanbaarheid door het opstellen van termen en definities om uit het Babylon der slijtage-terminologie tot een eenheid te komen.

5. Tenslotte noem ik U mijn laatste, maar niet onbelangrijkste strategische overweging in de strijd tegen de slijtage, namelijk: het slijtageprobleem moet geïntroduceerd worden daar, waar het technisch inzicht wordt gekweekt, dus gedurende de opleiding van de ingenieur. Tekenend voor de huidige situatie is, dat er nog geen studieboek over slijtage bestaat. Men zou kunnen zeggen, dat de slijtage een laat onderkende ziekte is. Toch dateert de oudste publikatie daarover uit de tijd van Napoleon; maar het eerste congres over slijtage werd pas

in 1937 gehouden. Er is voor het onderzoek van deze kwaal meer kennis en inzicht nodig gebleken, dan waarover men vroeger beschikte, en een verfijnd instrumentarium. Ook lijkt het niet gewaagd te veronderstellen, dat de ingenieur en de technicus, uiteraard minder geneigd schijnen om als geneesheer op te treden. Hij is niet georiënteerd op kwalen, maar op het nieuwe en betere in zijn vak. Thans bevinden wij ons echter met onze verantwoordelijkheid niet alleen tegenover de vraag van het kunnen maken maar ook voor het feit, dat onze topprestatie een drama wordt wanneer het vliegtuig neerstort of het bemande ruimtevaartuig faalt tegenover de hoogste eis: de mens terug te brengen bij mensen. Daarnaast doet zich een ander, jong inzicht gelden, namelijk dat verspilling niet te verantwoorden is bij een zo talrijke bevolking van onze aarde.

Het is daarom van het grootste belang dat de ingenieur het probleem van de slijtage als zodanig erkent, dat hij geleerd heeft welke slijtageprocessen zijn werk ondermijnen en wat hij thans reeds kan doen om de levensduur, de veiligheid en de economische waarde van zijn machine, apparaten en gereedschappen te vergroten.

### *Dames en Heren,*

De moderne metaalkundige is, zoals ik U heb trachten duidelijk te maken, een hephaestiaanse taak toebedeeld. Zijn kracht ligt zoals bij Hephaistos boven de gordel, zijn kracht ligt in de kunde d.w.z. in het kennen, het doorzien en het beheersen van de fenomenen. Verder moet hij begiftigd zijn met twee rechterhanden, zodat hij een goed experimentator is. Zoals Hephaistos steunde op twee door hemzelf vervaardigde robots om zich te kunnen voortbewegen, zo dient de metaalkundige terwille van de vooruitgang in zijn vak te kunnen steunen op een goede beheersing van de natuurwetenschappen. Hierdoor zal het mogelijk worden te voldoen aan de eisen die de moderne techniek stelt.

De wapenrusting die Hephaistos voor Achilles vervaardigde, diende ter bescherming in de strijd voor het recht. De kennis der metaalkundigen dient om de mensheid die wapenen in de hand te kunnen geven, waardoor de in de natuur verzamelde energie tot nut van de mensheid kan worden toegepast. Goed functionerende machines, machines voor produktie van goederen en voor energietransport, kernreactoren voor omzetting van materie in energie, werktuigmachines voor het vervaardigen van noodzakelijke onderdelen van

apparaten, toestellen enz. zijn vervaardigd om de mens het leven op aarde leefbaar te maken en om zijn levenskansen te helpen vergroten. Behalve dat de wapenrusting van Achilles doelmatig was, was zij ook een streling voor het oog. Zo dient de materiaalkeuze steeds verantwoord te zijn, opdat de constructie zo goed mogelijk aan de eisen der techniek voldoet. Het is echter gewenst de industriële vormgeving mede in de beschouwing van het ontwerp te betrekken, opdat onze technische verworvenheden ook esthetisch verantwoord zijn. Achilles heeft een roemvol maar kort leven gehad. Zijn wapenrusting had namelijk een zwakke plek waaraan hij tenslotte ten onder ging. Ook onze technische produkten bezitten vaak een geheimzinnige, zwakke stee maar in dit opzicht mag de analogie met Achilles niet verder gaan: wat wij maken met zoveel inspanning, kunde en kosten mag niet voortijdig bezwijken of onbruikbaar worden.

Thans bij de aanvaarding van mijn ambt zij het mij vergund in de eerste plaats aan *Hare Majesteit de Koningin* mijn eerbiedige dank te betuigen voor mijn benoeming tot gewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Curatoren,*

Voor het vertrouwen, dat U mij heeft willen schenken door mij voor deze benoeming voor te dragen, betuig ik U mijn dank. Wilt ervan verzekerd zijn, dat ik naar best vermogen zal bijdragen aan de opleiding van de werktuigkundige ingenieur en de bevordering van het wetenschappelijk onderzoek.

*Mijne Heren Leden van de Senaat,*

Hoewel ik met enkelen Uwer reeds eerder kennis mocht maken, was Uw kring voor mij in feite nieuw, zoals alles op deze Hogeschool. De vele prettige contacten in de achter ons liggende korte periode hebben mij het intreden in deze Hogeschoolgemeenschap bijzonder aangenaam en gemakkelijk gemaakt. Ik beschouw het als een voorrecht in Uw midden te zijn opgenomen en met U te mogen werken aan de verdere uitbouw van deze Hogeschool.

*Mijne Heren Leden van de Afdeling der Werktuigbouwkunde,*

Het is mij een groot genoegen in Uw midden te mogen verkeren en met U samen te werken in de zo prettige sfeer van de Afdeling. De manier waarop U, Waarde VEENSTRA, als voorzitter waakt voor de belangen van de Afdeling en haar leden, heeft mij bijzonder getroffen. Dit legt mij de verplichting op mijn energie te geven aan haar verdere groei en vervolmaking.

Zeer dankbaar ben ik U voor de prettige wijze, waarop U de stappen hebt ondernomen die tot mijn intrede in deze Hogeschool hebben geleid.

*Waarde Brandsma,*

In 1934 was U in dezelfde situatie als ik hedenmiddag. Sindsdien heeft Uw naam een klank gekregen, die ieder kent in de metaalkunde en die een sleutel is op alle deuren van de metaalnijverheid.

U hebt voor de studenten steeds Uw beste krachten ingezet en Uw goede connecties in de bedrijven weten in te schakelen. Ik dank U bijzonder voor de manier, waarop U mijn plaats hebt voorbereid op deze Hogeschool. Ik zal al mijn energie aanwenden om te trachten de leerstoel BRANDSMA-waardig te bezetten. Ik stel het bijzonder op prijs, dat U regelmatig aanwezig bent om examen af te nemen maar vooral om mij de vele kneepjes van het vak op zo'n charmante wijze te leren. Het is mij een speciale behoefte, U Waarde BRANDSMA, te verzekeren, dat de deur van het laboratorium steeds wijd voor U open staat. Ik spreek de hoop uit, dat U nog vele jaren in goede gezondheid met Uw vrouw zult doorbrengen.

*Heren Leden van het Dagelijks Bestuur,*

*Dames en Heren van het Secretariaat van de Nijverheidsorganisatie T.N.O.,*

De jaren die ik in Uw organisatie heb mogen doorbrengen, zullen mij steeds als goede jaren in herinnering blijven.

*Waarde Reitsema,*

De ruim tien jaar die ik in Uw Metaalinstituut T.N.O. heb gewerkt, zal ik gedenken als de tijd van ontplooiing van dit instituut tot een ruim achtvoudige personeelssterkte en van opbouw van een Nederlandse slijtagegroep. Door Uw zo juiste visie, dat „de cost voor de baet uitgaet” is dit alles mogelijk geworden. Ik hoop, dat de ontworpen samenwerking op het gebied van slijtage voor beide partijen aan de verwachting zal voldoen.

*Heren oud-medewerkers,*

Het is mij een groot genoegen geweest met Uw taken te delen. Ik hoop, dat Uw afdeling tot steeds grotere bloei moge komen.

*Medewerkers van de groep werktuigkundige materialenkunde,*

De goede ervaring die ik tot nu heb, doet mij het beste hopen voor onze samenwerking en het ontplooiën van het voorgenomen onderzoek.

*Dames en Heren Studenten,*

Uw traditionele plaats aan het eind van een oratie stelt mij in de gelegenheid mijn afsluitende gedachte speciaal tot U te richten, die hier de mogelijkheid vindt zich te bekwamen in de technische wetenschappen.

Zoals ik heb uiteengezet begon de verbazingwekkende verovering van de wereld van de dode stof ongeveer twee eeuwen geleden. Vooral het contact tussen natuurwetenschappen en techniek leidde tot grote technische verworvenheden, die bijdroegen tot een verhoging van ons comfort, de levensstandaard en de levenskansen. Zo heeft men in 1953 berekend, dat de gemiddelde Amerikaan ongeveer 2000 maal zo veel energie ter beschikking heeft als twee eeuwen geleden. Hiervan wordt de helft gebruikt voor de individuele leden van de bevolking in de vorm van licht, verwarming, transport en aandrijving van huishoudelijke apparaten; 20 procent wordt gebruikt voor vervaardiging van nieuwe produkten en de rest (!) gaat verloren bij de omzetting in andere vormen van energie.

De mens, de meest hulpeloze van de primaten, die als zoogdier een pover figuur slaat, is het gegeven de natuurkrachten aan zich dienstbaar te maken. De mens, die door Rostand beschreven wordt als „kleinzoon van de bloedzuiger of de vis, achterkleinzoon van de slak, een dom beest dat de integraalrekening heeft uitgevonden en dat droomt van rechtvaardigheid en dat nochtans slechts een moment is binnen de onzinnige en dwaze ontwikkeling van het protoplasma, dat zelf zijn ontstaan dankt aan een of andere besmetting”, deze mens beheerst de wereld van het atoom en morgen ook van de ruimte.

De macht van de mens over de natuur is steeds meer toegenomen, maar de wijsheid om deze macht in het algemeen belang aan te wenden, heeft dit tempo niet kunnen bijhouden. Door het succes in de techniek is de aandacht afgeleid van de wereld van het leven en van de geest. Men is zich niet voldoende bewust, dat de technische vindingen slechts hulpmiddelen zijn bij ons streven naar een betere maatschappij. De wetenschap kan op eigen kracht geen gezonde wereld opbouwen. Dat is destijds ook nooit de bedoeling geweest van pioniers als NEWTON (1642-1727), BOYLE (1627-1691) of HUYGENS (1629-1695). Zij onderzochten de natuur om het doel van de schepping en de bedoeling van de schepper beter te leren zien.

Daarom geef ik U in overweging – Dames en Heren Studenten – tijdens Uw studie der technische wetenschappen niet te vergeten, dat de mens het enige dier is, dat echt kan kiezen en dat zijn gedragingen onderwerpt aan een moraal. Willen wij inderdaad een betere wereld dan moeten wij een meer harmonische groei van onze beschaving nastreven en mag de techniek nooit het doel zijn van ons leven.

Ik dank U voor Uw aandacht.