

COMPLEXITEIT VAN  
MATERIALEN

Dr. Ir. Y. M. DE HAAN

# COMPLEXITEIT VAN MATERIALEN

OPENBARE LES

GEGEVEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET  
AMBT VAN GEWOON LECTOR IN DE KENNIS  
EN HET ONDERZOEK VAN BOUWMATERIALEN  
IN DE AFDELING DER WEG- EN WATERBOUW-  
KUNDE AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE  
DELFT, OP VRIJDAG 29 MEI 1970

DOOR

Dr. Ir. Y. M. DE HAAN

UITGEVERIJ WALTMAN - HIPPOLYTUSBUURT 4 - DELFT

Rede 094

*Mijne Heren Curatoren,  
Mijnheer de Rector Magnificus,  
Mijne Heren Leden van de Senaat,  
Dames en Heren Lectoren, Docenten en Medewerkers van de Technische  
Hogeschool,  
Dames en Heren Studenten,  
en voorts Gij allen die deze plechtigheid met Uw aanwezigheid opluistert,*

*Zeer gewaardeerde Toehoorders,*

Sprekende over materiaalkunde heeft men het gevoel dit betrekkelijk nieuwe en snel groeiende gebied van wetenschapsbeoefening op een of andere manier samen met zijn toehoorders te moeten betreden. Nu is dat inderdaad langs verschillende paden mogelijk. Daarvan zou ik er enkele met U willen bewandelen, voordat ik kom tot datgene wat ik heb gekozen als thema voor deze les: de complexiteit van materialen.

Het meest voor de hand liggend is het om van het bestaan en het belang van materialen – in ons geval bouwmaterialen – uit te gaan als een vanzelfsprekendheid. Aansluitend kan dan gewezen worden op de enorme verscheidenheid in de materialenwereld, maar ook op gemeenschappelijke kenmerken van groepen van materialen alsmede op hun indeling op basis van verschillende typen van chemische binding. Op de verbetering van bestaande materialen en op de stormachtige ontwikkeling van nieuwe materialen. Op de bewerking; op het gedrag van materialen onder allerlei omstandigheden, evenals op de omschrijving en de meting van materiaalgrootheden die het gedrag en de bewerkbaarheid kwantitatief karakteriseren. Op de economische competitie ook van materialen.

Een introductie met een beschrijvend en rubricerend karakter; de opzet van talloze boekwerken op materiaalgebied. De mens is hierbij ietwat catalogiserend werkzaam en het resultaat van zijn arbeid is, zonder iets af te doen aan het belang ervan, beter als materialenkennis dan als materiaalkunde te karakteriseren.

Boeiend hierbij is zeker het historisch perspectief; de culturele geschiedenis van de mensheid, vanaf de vroegste tijd, is immers nauw verweven geweest met de beheersing en het gebruik van materialen: klei, steen, hout, koper, brons, ijzer en staal. Er bestaat geen twijfel

over dat de cultureel-filosofische vorming van de mens diepgaand is beïnvloed door het besef van zijn mogelijkheden met betrekking tot het hanteren van materialen. Aan een onlangs verschenen essay \* van dr. Corn. Verhoeven: „Meditatie over een spijker”, ontleen ik in dit verband het volgende:

„Er is een enorme sprong gemaakt in de geschiedenis, voordat het ijzer gehanteerd kon worden. Wie ijzer betast, heeft een stuk menselijke geschiedenis en overmoed in de hand, een brok karakterloosheid, die door de mens in dienst is gesteld van zijn eigen meestal agressieve bedoelingen. Niet voor niets is in de rangorde van tijdperken het ijzer op de laatste plaats gesteld; het vertegenwoordigt de grootste vooruitgang, maar ook de diepste ellende. Bij ijzer denken wij aan wapens, aan steken, doorboren, splijten en kerven. Het is een menselijk, historisch materiaal, dat tot op zekere hoogte buiten de natuur en wat zij direct geeft, ligt. Een stuk ijzer stelt een stuk geschiedenis present.”

En:

„Met het ijzer verwerft hij zich een eigen verantwoordelijkheid, waarmee hij zich tegen de bestaande orde kan richten. De archaische huiver voor het ijzer is volkomen te vergelijken met wat de moderne mens voelt tegenover de onschatbare krachten van de atoomenergie.”

Het is nauwelijks nodig om erop te wijzen dat de meest spectaculaire technologische successen van onze dagen niet mogelijk zouden zijn geweest zonder de ontwikkeling van materialen die voldoende lang bestand zijn tegen extreme omstandigheden.

#### *Materiaalkunde als wetenschap*

Wij kunnen het gebied van de materialen ook langs een andere weg betreden, nl. door te wijzen op de samenhang van ons terrein van wetenschapsbeoefening met andere wetenschappen, zoals het fundamenteel onderzoek van de materie, de fysica en de chemie van de vaste stof, de symmetrieleer, de reologie, de fasenleer en de mechanica's, waarbij de toegepaste mechanica maar ook de statistische

\* Dr. Corn. Verhoeven: Het Grote Gebeuren. Uitgeverij Ambo N.V., Utrecht 1966.

mechanica. Aldus laat ons werkterrein zich enigszins aangeven en afbakenen. Dit is de natuurwetenschappelijke benadering waarbij de materiaalkunde verschijnt als een uitgesproken multidisciplinaire wetenschap. De rol van de mens hierin is vooral die van de onderzoeker, op een of andere manier gefascineerd door de stof zelf, of door de materie als medium bij allerlei verschijnselen.

Wel vraagt het materiaalkundig onderzoek een andere aanpak dan die van de zuiver wetenschappelijke research. Zelf komende uit de hoek van het fundamentele onderzoek van de vaste stof kan ik de verleiding niet weerstaan enkele verschillen aan te wijzen die ervaren worden bij „overgang” naar een toegepast natuurwetenschappelijk gebied als de materiaalkunde. Het is de overgang van materie naar materiaal; van homogeen naar heterogeen; van materie-eigenschappen naar materiaalgedrag; van de zorgvuldig geconditioneerde laboratoriumopstelling naar de bouwplaats, het wegdek en de aan weer en wind blootgestelde constructie; van de nauwgezet gereinigde glascapillair naar de porositeit van baksteen; van exact gedefinieerde stofconstanten naar moeilijk omschrijfbaar begrippen als sterkte, hardheid en slijtvastheid.

Bij het materiaalkundig onderzoek gaat het veelal niet om het bestuderen van een geïsoleerd fysisch verschijnsel, maar om het aantreffen, in of aan een bepaald materiaal, van effecten – en neven-effecten – onder gecompliceerde randvoorwaarden. Dit laatste wordt teweeggebracht zowel door de meestal niet eenvoudige interne structuur van het materiaal, als door de externe omstandigheden, die nu eenmaal door de praktijk worden opgelegd. Dit is zowel de uitdaging als de complexiteit van materiaalkundig onderzoek.

Hier zou ik terloops uiting willen geven aan mijn opvatting dat, bij alle overwegingen van toepasbaarheid, consequenties voor de samenleving enzovoorts, toch steeds de nieuwsgierigheid van de onderzoeker, zijn geïntrigeerd zijn, de drijfveer is van wetenschappelijk speurwerk. Of dat voor toegepast wetenschappelijk onderzoek in mindere mate geldt is sterk de vraag.

#### *Materiaal en constructie*

Aan nog weer een andere ingang tot de materialenwereld zou ik in het kader van deze inleiding eigenlijk de meeste aandacht willen geven. Waar ik op doel is die van de materiaalgebruiker. Een mate-

riaal is welhaast bij definitie iets om te worden gebruikt. De Duitser spreekt van „Werkstoffe”. Zowel het onderwijs in de materiaalkunde als het materiaalkundig onderzoek worden gemotiveerd en ingegeven door materiaalgebruik, in ons geval het civiel-technisch materiaalgebruik door de constructeur. Uitgangspunt is nu de constructie, waarbij materialen – in feite bepaalde eigenschappen van materialen – hulpmiddelen zijn. Het is aan de ontwerper om, als representant van de bouwer en alle latere gebruikers, de wensen te formuleren, waaraan de constructie in zijn totaliteit en in alle onderdelen zal moeten voldoen. Hieruit volgen eisen te stellen aan de bouwmaterialen. Bij de formulering ervan mag de ontwerper in eerste instantie globaal te werk gaan, maar wel moeten zijn overwegingen zo volledig mogelijk zijn, waarbij o.a. aan de duurzaamheid van de materialen onder de te verwachten omstandigheden een hoge prioriteit moet worden toegekend. Daarna moeten de kwantificeerbare materiaaleisen worden vertaald in materiaaleigenschappen en, waar dat mogelijk is, in intervallen of uiterste waarden van grootheden die deze eigenschappen karakteriseren. Op grond daarvan, op grond ook van bepaalde niet-kwantificeerbare wenselijkheden, op grond vooral ook van economische overwegingen, zal de ontwerper, zo nodig geholpen door de materiaalkundige, kunnen komen tot de keuze van een materiaal of een combinatie van materialen.

Aan het hierboven geschetste verband tussen constructie en materiaal wil ik een paar opmerkingen vastknopen. In de eerste plaats moeten we dat verband wel enigszins corrigeren en aanvullen. Het beeld is namelijk wat traditioneel en daarmee niet fout, maar wel onvolledig en op sommige punten achterhaald. Aan de materiaalkundige en zijn vakgebied wordt op deze wijze een rijkelijk passieve rol toebedeeld. Het is bekend dat nieuwe materialen kunnen inspireren tot allerlei nieuwe technologische toepassingen. Tussen de materiaalkundige en de constructeur behoort een wisselwerking te bestaan. De eerste verstrekt aan de constructeur materiaalgegevens die mede basis zijn voor de constructieberekening; hij ontleent aan het gedrag van de constructie uitkomsten die kunnen leiden tot vermeerdering van zijn kennis van de materialen, tot verbetering van het materiaalgedrag en tot de ontwikkeling van nieuwe materialen. Zijn contacten met de constructeur zullen bijdragen tot een verbreiding van zijn inzicht in materiaaleisen.

Hierboven is reeds aangegeven dat het onjuist is materialen al te zeer te beschouwen als gegevenheden; steeds meer doet de mogelijkheid zich voor materialen en materiaalsystemen te ontwerpen en daarbij aan te passen aan de eisen die de constructie stelt. Ook de functionele scheiding van constructie en materiaal is minder scherp en zal zeker minder scherp worden dan zoëven zou kunnen zijn gesuggereerd. Moderne samengestelde materialen, zoals glasvezelversterkte kunststoffen, zijn constructies in zichzelf en het sterkte-principe ervan is enigszins vergelijkbaar met dat van gewapend beton. Men kan spreken van construeren met materialen, maar ook van construeren van materialen. Het is ook daarom een gelukkige omstandigheid voor een technische materialengroep om onderdeel te zijn van een afdeling waarbinnen het construeren vanouds op de voorgrond staat.

Ook in andere sectoren van de materiaalkunde is een integratie van materiaal functie en constructie waar te nemen. Transistoren, gelijkrichtcellen en vooral microcircuits zijn op te vatten als materiaal-systemen die integraal in de plaats treden van de vroegere volumineuze constructies en schakelingen waarin elk materiaal een specifieke functie vervulde. De zogenaamde moleculaire zeven (zeolieten) leveren in de chemische technologie een sprekend voorbeeld op van materialen die op basis van hun microstructuur in staat zijn tot een integraal proces: het scheiden van een mengsel van grotere en kleinere moleculen.

#### *De korreligheid van materialen*

Waarde toehoorders, wat ik tot dusver heb gedaan is U te leiden – langs verschillende paden – naar een bepaalde hoogvlakte. Daar aangekomen wil ik een algemeen gezichtspunt innemen van waaruit allerlei materialen en materiaaleigenschappen kunnen worden overzien. Waar ik op doel is het volgende: heel veel denken over – en rekenen aan materialen is gebaseerd op het beeld van een materiaal als een volkomen continu, homogeen en meestal ook nog isotroop medium. Ik zou daar nu tegenover willen stellen de korreligheid van materialen, als fundamenteel aspect. Onder korreligheid versta ik in dit verband elke vorm van verstoring van de bovenbedoelde continuïteit, zonder dat al aan een bepaald structuurmodel wordt gedacht. In feite weten we dat alle materie korrelig is, waarbij de korreligheid uiteindelijk gegeven is door de atomaire structuur. In die

zin zijn zelfs een vloeistof en een ideaal kristal korrelig. Het is echter tamelijk karakteristiek voor materialen, en hoogst belangrijk, dat wij meestal op grotere, soms veel grotere schaal met een bepaalde structuur worden geconfronteerd. Voorbeelden daarvan bij bouwmaterialen liggen voor het oprapen. De korreligheid van *baksteen* en de vezeligheid van *hout* zijn voor iedereen waarneembaar. Dat een stuk *metaal* uit korrels bestaat, de zogenaamde kristallieten, is met eenvoudige hulpmiddelen zichtbaar te maken. In thermoplastische *kunststoffen* (plastics) heeft men veelal een afwisseling van kristallijne en amorfe gedeelten die voor de mechanische eigenschappen heel belangrijk is. *Klei* bestaat voor een belangrijk gedeelte uit kleine vlakke plaatjes. Bij aanwezigheid van water tussen deze plaatjes is onderlinge verschuiving mogelijk. Daaraan ontleent klei zijn grote plasticiteit. Deze verdwijnt bij droging; de plaatjes kunnen elkaar nu dichter naderen, waardoor krimp en scheurvorming optreden. *Glas*, op het eerste gezicht het toonbeeld van een homogeen materiaal, is in feite micro-inhomogeen, omdat de chemische samenstelling op micro-niveau aan fluctuaties onderhevig is.

In het algemeen hebben we te maken met korreligheid op een aantal niveaus. Een ander voorbeeld kan dit direct verduidelijken. Beton is op te vatten als een systeem van grindkorrels – het zogenaamde aggregaat – in een min of meer homogene mortelmatrix. Bij nauwkeuriger beschouwing is deze mortel in het geheel niet homogeen, hij bevat zandkorrels, poriën, scheurtjes en een veel meer continue cementpasta. Maar ook deze cementpasta is door de aanwezigheid van niet-gehydrateerde cementdeeltjes en micro-poriën gekorrelt. Zo worden we bij beton met een aantal niveaus van korreligheid geconfronteerd. En aan deze niveaugewijze beschrijving van de structuur van beton zijn nog wel uitbreidingen te geven, zowel naar boven als naar beneden. Want enerzijds is er niets op tegen om gewapend beton te zien als samengesteld materiaal bestaande uit staal en beton, dit laatste nu homogeen opgevat, anderzijds is de zoëven genoemde cementpasta nog weer een uiterst complex en nog onvolledig geëxploreerd systeem van amorfe en kristallijne fasen, waarbinnen dan, tenslotte, de atomaire korreligheid zich aftekent.

Vraagt men nu naar de bruikbaarheid van beton als constructiemateriaal, naar de sterkte van beton en naar het optreden van verschijnselen als krimp en kruip, dan kunnen wij bij het zoeken naar

interpretaties en naar mogelijkheden tot verbetering van het materiaal geen van de bovenbedoelde niveaus bij voorbaat uitsluiten. Hier kan iets duidelijk worden van de enorme complexiteit van dit materiaal; complex wat de structuur betreft die op een aantal niveaus moet worden beschreven, complex vooral ook wat betreft de met deze structuur samenhangende variatie – van punt tot punt – van de lokale eigenschappen en -grootheden zoals de dichtheid, de spannings- en vervormingstoestand, de stijfheid en de sterkte. Deze plaatsafhankelijkheid, inhomogeniteit, zal op een of andere manier bepalend zijn voor het gedrag van het materiaal. Dat is het belang van het onderkennen van de korreligheid van materialen. Op basis van de onderlinge geometrische verhoudingen van de „korrels” en hun verschillende intrinsieke eigenschappen wordt de mogelijkheid geboden om te komen tot een interpretatie van het macroscopische gedrag van het materiaal. Het volkomen continue materiaalbeeld kan nauwelijks iets verklaren.

Nu is het dikwijls zo dat van de verschillende korreligheidsniveaus die in een materiaal te onderscheiden zijn een ervan meer relevant is dan de andere. Ook hier is een voorbeeld op zijn plaats. Bij een zuiver metaal, evenals bij een enkelfasige legering, is de mogelijkheid van *elastische* deformatie gegeven door het verloop van de aantrekkende en afstotende krachten met de onderlinge afstand tussen de metaalatomen zelf. De polykristallijne structuur van een metaal en zijn dislocatiestructuur spelen bij dit verschijnsel in mindere mate een rol. Uit een en ander volgt dat legeren weinig invloed heeft op de stijfheid van metalen. Hier is dus de atomaire structuur het meest relevante niveau.

Voor de *plastische* deformatie van een metaal is de beweeglijkheid van dislocaties zeer belangrijk. Deze beweeglijkheid wordt door vreemde atomen sterk verminderd. Daarom zijn b.v. brons en messing veel sterker dan koper. In dit geval is dus de korreligheid die is gegeven door de dislocatiestructuur overwegend, de atomaire korreligheid is nu min of meer „passief”. Het onderkennen van het meest relevante structuurniveau, voor een bepaald verschijnsel en bij een bepaalde materialengroep, is in de materiaalkunde essentieel.

#### *Heterogeniteit en anisotropie*

Laten wij het thema van de materiaalkorreligheid nog wat verder

uitwerken. De korreligheid is meestal geassocieerd met de aanwezigheid in het materiaal van verschillende stoffen, ook wel aangeduid als fasen; grind, zand, cement, water en lucht in beton; plastic en lucht in schuimplastic; ijzer en cementiet in staal; verschillende houtsoorten en lijm in triplex; leem, zand en water in klei. We spreken in dit verband van heterogene media en van meerfasige materialen. Toch kan een enkelfasig materiaal een korrelig karakter bezitten. Normale polykristallijne metalen zijn daar voorbeelden van. De korreligheid heeft in dit geval te maken met het volgende: van een kristal zijn de eigenschappen in het algemeen afhankelijk van de richting t.o.v. de kristalassen. Men noemt dit anisotropie. De aard van de anisotropie kan beschreven worden vanuit de symmetrieleer. Zelfs kristallen van de hoogste symmetrie, de kubische symmetrie, zijn toch nog anisotroop wat betreft de belangrijkste mechanische eigenschappen: elasticiteit en plasticiteit. Een stuk metaal nu is een verzameling van nauw aaneengesloten kristalletjes, die daarbij in allerlei standen voorkomen. Bij het aanbrengen van een mechanische belasting zullen de vervormingen in de verschillende kristalletjes ongelijk zijn, als gevolg van de anisotropie. Korreligheid kan dus samenhangen met anisotropie of met heterogeniteit, in het algemeen met allebei.

Indien bij het bovenbeschreven voorbeeld de kristallieten inderdaad in allerlei standen voorkomen, zonder voorkeur voor bepaalde oriëntaties, dan zal, zoals U zult begrijpen, het materiaal als geheel wel isotroop zijn en dat nog wel voor elke eigenschap. Dit is mede het gevolg van het grote aantal deeltjes en de isotropie verschijnt hier als een statistisch resultaat. Deze situatie komt bij materialen dikwijls voor. Dat heeft met zich meegebracht dat op grote schaal wordt gerekend aan materialen op basis van de aanname van isotropie. In veel gevallen is dit echter ontoereikend. De bovenbesproken metalen kan ik anisotroop maken door te rekken of te walsen, waardoor de volstreekte willekeur in de oriëntatie van de kristallieten weer wordt opgeheven. Ook andere van deze zogenaamd quasi-isotrope materialen kunnen onder invloed van bereidingsomstandigheden, bewerking of langdurige belasting (scheurtjesvorming) in feite anisotroop zijn.

Iedereen weet overigens wel dat hout anisotroop is en houdt daar rekening mee bij de bewerking en het gebruik.

Anisotropie op grotere schaal kan ontstaan als verschillende fasen worden gecombineerd tot een samengesteld materiaalsysteem. Glas-

vezelversterkte kunststoffen bijvoorbeeld kunnen, afhankelijk van de onderlinge richtingen van de vezels, op allerlei manieren anisotroop zijn. Hier ligt duidelijk de mogelijkheid van het ontwerpen van een materiaal op basis van de belastingstoestand van het materiaal in de constructie.

Omdat belastingstoelstanden in de praktijk vrijwel steeds anisotroop zijn, is het waarschijnlijk dat het ontwerpen van materialen steeds meer in de richting zal gaan van anisotropie. Dit is niets anders dan de al eerder door mij gesignaleerde tendens tot aanpassing van het materiaal aan de belastingstoestand.

Ik noemde al enkele malen de complexiteit van materialen. Het wordt nu duidelijk waar deze uit voortkomt. Het is de aanwezigheid in het algemeen van verschillende fasen, de heterogeniteit dus, gecombineerd met de mogelijkheid van anisotropie: van de korrels in de fasen, bij de fasen zelf, en van het multifasige materiaalsysteem als geheel; en dat alles dikwijls nog op meerdere niveaus van korreligheid.

#### *Materialen als geometrische patronen*

Op één aspect zal ik nu nog wat nader ingaan nl. dat van de geometrische verhoudingen waarin de fasen in een materiaal kunnen voorkomen. Geometrisch eenvoudig zijn gelamineerde materialen zoals triplex, evenals glas- en kunststofplaten die versterkt zijn met continue draden of vezels. We hebben hier continue of quasi-continue fasen. Dit laatste is ook het geval in een spons, of in een gesinterd materiaal, maar daar is de samenhang van de continue fasen, waarvan één de lucht is, uiterst grillig. Deze curieuze fase-continuïteit brengt o.a. met zich mee dat een spons zich geheel met water kan vullen en daarbij toch een samenhangend geheel kan blijven. In een gesinterd metaal kan de luchtfase vervangen worden door smeerolie, hetgeen in een zelfsmerend lager wordt toegepast. Een ander veel voorkomend patroon is dat van een discontinue fase – in de vorm van korrels, plaatjes, of poriën – in een continue matrix. We vinden dit o.a. bij de door dispersie versterkte metaallegeringen, bij poreuze stoffen, bij gevulde rubbers en uiteraard bij het eerder besproken beton.

Uitgaande van deze verschillende topologische mogelijkheden wordt het duidelijk dat we materialen ook kunnen karakteriseren in termen van orde en wanorde. Volstreekte ordening vinden we bij com-

plexe materialen niet, al herinnert de opmerkelijke regelmaat van de celstructuur van schuim, en ook de periodiciteit van metselwerk, even aan de kristallijne ordening. Meer gebruikelijk is een tamelijk grote wanorde! De korrelstructuur van beton is daarvan weer een goed voorbeeld. De onregelmatigheden zijn van velerlei aard en hebben betrekking op de vorm van de korrels, hun grootte en hun onderlinge afstanden. Toch is in het algemeen de wanordelijkheid niet volstrekt; bij beton kunnen de korrelafmetingen liggen tussen vooraf bepaalde grenzen en de afstandsfuncties bezitten niet de willekeur die kenmerkend is voor de plaatsverdeling van moleculen in een gas. Het karakteriseren van de structuren van heterogene materialen wat betreft hun ligging tussen volstreekte orde en volstreekte wanorde is een essentieel onderdeel van moderne materiaalbeschrijving.

Het zal iedereen duidelijk zijn dat de materiaal-wanorde een extra moeilijkheid is bij de interpretatie van het materiaalgedrag. Van een materiaalstelsel met een regelmatige periodieke structuur zoals die van een muur, kan men zich nog wel voorstellen dat bij bekendheid van de elastische eigenschappen van de fasen – in dit geval baksteen en metselmortel – de spanningen en vervormingen meer of minder streng kunnen worden doorgerekend. De stijfheid van het samengestelde materiaal zou aldus kunnen worden uitgedrukt in de elastische constanten van de samenstellende fasen en hun geometrische verhoudingen. In een materiaal met een statistische structuur is dat zeker niet streng mogelijk.

Om nu toch een indruk te geven van enkele mechanische effecten die zich voordoen bij het combineren van fasen tot een samengesteld materiaal wil ik teruggrijpen naar een zo eenvoudig mogelijke situatie: die van een vlakke plaat die uit een aantal isotrope lagen is samengesteld. De toegepaste mechanica leert dat bij een belasting in het vlak van de plaat de elastische vervorming in de lagen dezelfde is; de *spanning* in elke laag is evenredig met zijn stijfheid. Dit is eigenlijk het principe van de met glas- of koolstofvezels versterkte kunststoffen: de veel stijvere vezels trekken de spanningen als het naar zich toe.

Geven we de bovengenoemde plaat een uniforme belasting die loodrecht staat op het plaatvlak dan is de spanning in elke laag dezelfde. Nu is het de *vervorming* die afhankelijk is van de stijfheid van de laag. Deze beide gevallen, die wel als resp. parallel- en seriebelasting worden aangeduid, kunnen als modellen dienst doen bij de studie

van materiaalssystemen met een grotere ruimtelijke complexiteit. In het algemeen zal dan noch de spanning, noch de vervorming continu mogen worden verondersteld aan de korrelgrenzen. Van sommige gesinterde systemen blijken de stijfheid en andere eigenschappen binnen een breed gebied van samenstellingen te variëren tussen de grenzen die door het serie- en het parallelmodel zijn gesteld. Ook bij de eerder besproken polykristallijne metalen heeft men bevredigende verbanden kunnen leggen tussen de experimenteel bepaalde elastische constanten van het materiaal als geheel en die van de samenstellende kristallieten.

Een en ander komt neer op het zoeken van bepaalde gemiddelden. Voor kritische verschijnselen met een irreversibel en coöperatief karakter, zoals scheurvorming, zal men echter niet met gemiddelden kunnen volstaan, maar de lokale structuur moeten beschouwen, en de wijze waarop deze wordt beïnvloed door een niet-continue omgeving. In dit gebied, dat ik alleen maar kan aanstippen, liggen waarschijnlijk wel de moeilijkste problemen van de theoretische materiaalkunde.

Het zal U duidelijk geworden zijn dat korreligheid bij vele materialen een gegeven is waarvan men zich bij het gebruik bewust moet zijn en die een materiaaleigenschap in gunstige of ongunstige zin kan beïnvloeden. Anderzijds is juist deze korreligheid, in zijn samenhang met heterogeniteit, mate van ordening en anisotropie, instrument van de materiaalkundige bij het aanpassen en optimaliseren van materiaaleigenschappen. Harde insluitingen in een elastische of plastische matrix kunnen een verhoging van de stijfheid, van de sterkte en soms van de slijtvastheid bewerkstelligen. Dit is een principe dat ten grondslag ligt aan de precipitatie- en de dispersieharding van metalen, aan de sterkte van beton en aan de taaiheid van gevulde rubbers. Boven een bepaalde insluitingsconcentratie kunnen stijfheid en sterkte weer gaan dalen, soms tot beneden die van de matrix.

Deze kwestie, die om nader onderzoek vraagt, kan beschouwd worden als onderdeel van de algemene vraag naar het verband tussen materiaalstructuur en materiaaleigenschappen. Ik heb aangegeven in welke algemene betekenis het woord structuur in dit verband moet worden geïnterpreteerd. Maar met name hoop ik duidelijk gemaakt te hebben dat het hierbij niet gaat om een academische vraagstelling, maar om een zaak die mede basis is van moderne

materiaalbeheersing en -ontwikkeling en die daarom zeker ook vanuit de gezichtshoek van de materiaalgebruiker ten volle de aandacht verdient.

Dames en Heren, ik heb getracht U een indruk te geven van de complexiteit van materialen en de tegenstelling te schetsen met het beeld van het homogene isotrope medium dat met enkele kentallen te karakteriseren zou zijn. De samenhang tussen materiaalontwerp en materiaalgebruik heb ik getracht aan te duiden. Hiermee meen ik ook iets te hebben aangegeven van wat naar mijn oordeel het onderwijs in de civiel-technische materiaalkunde moet inhouden. De wereld der materialen is in snelle ontwikkeling; het is niet mogelijk om de aanstaande ingenieur de materialenkennis mee te geven die voor geruime tijd (tien tot twintig jaar) toereikend zou zijn. Hij moet trouwens zelf in staat worden geacht om op dit punt regelmatig voor de nodige herziening en aanvulling te zorgen. Veel moeilijker zal het hem vallen om zich later alsnog vertrouwd te maken met fundamentele eigenschappen en gedragingen van materialen zoals anisotropie, hysteresis, relaxatie, plasticiteit, mechanische en thermodynamische stabiliteit, alsmede met de achtergronden van processen als veroudering, kruip en elektrochemische aantasting.

Aan onderwijs in de civiel-technische materiaalkunde, op universitair niveau, moet daarom de eis worden gesteld dat het vertrouwdheid geeft met zulke zaken, alsmede begrip van de grondslagen ervan.

*Zeer gewaardeerde toehoorders,*

Bij de openbare aanvaarding van mijn ambt betuig ik gaarne mijn erkentelijkheid jegens de Kroon voor mijn benoeming tot lector aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Curatoren,*

Voor het vertrouwen dat U in mij heeft gesteld door mijn benoeming te willen aanbevelen spreek ik mijn grote erkentelijkheid uit.

*Hooggeleerde Prins,*

Ik weet, en ik wil niet nalaten U te doen weten, dat ik door Uw

leraarschap en Uw beklemtoning van het universele karakter van de hedendaagse natuurkunde, deze nieuwe functie met vertrouwen en vreugde aanvaard.

*Hooggeleerde De Wolff,*

Op Uw kritische zin en Uw zuivere denktrant, die ik leerde kennen tijdens mijn medewerkersperiode in Uw groep, zal ik mij trachten te baseren bij het beoordelen van mijn eigen werk en dat van anderen.

*Mijne Heren Hoogleraren, Lectoren en leden van de Wetenschappelijke Staf van de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde,*

Deel te gaan uitmaken van Uw werkgemeenschap vraagt onmiskenbaar enige aanpassing van een „anders-denkende”. Ik vertrouw erop, en ik heb reeds ervaren – ook bij de voorbereiding van deze les – dat U mij zult willen steunen en stimuleren bij het zoeken en onderzoeken van die aspecten van bouwmaterialen die in het kader van de verdere ontwikkeling van de civiele techniek zinvol zijn.

*Dames en Heren medewerkers bij de Afdeling der Weg- en Waterbouwkunde, en de Afdeling der Technische Natuurkunde,*

Met zijn werk probeert een ieder van ons een steentje – ik zou na deze les willen zeggen een korreltje – bij te dragen tot een zeker groter geheel. Daarbij is, net als in een materiaal, onze inbreng niet alleen afhankelijk van de kwaliteit van onze arbeid, maar ook van onze relaties met „de anderen”. Ieders werk zal alleen tot zijn recht komen en in een breder perspectief kunnen worden gezien als er een voortdurende bereidheid is om er met anderen over te spreken. Omgekeerd moet men ook bereid zijn kennis te nemen van de inzichten en uitkomsten van een ander en bij diens werk behulpzaam te zijn, ook als dat betekent dat de eigen arbeid wordt onderbroken. Ik sprak al over de noodzaak van contacten tussen materiaaldeskundigen en materiaalgebruikers. Even wenselijk lijken mij veelvuldige contacten tussen onderzoekers en onderwijsmensen. En de mogelijkheden van de Hogeschool op onderzoekgebied zouden naar mijn mening sterk worden uitgebreid wanneer op grotere schaal dan thans medewerkers uit verschillende afdelingen zouden worden

ingeschakeld bij bestaande onderzoekprojecten en bij de formulering van onderzoekprogramma's.

Maar de betekenis van een ongedwongen en intensieve gedachten-uitwisseling reikt verder dan tot de werkresultaten. Want het is door zijn relaties met anderen dat ieder mens zichzelf ontplooit en dat de samenleving waarvan hij deel uitmaakt werkelijk leefbaar wordt.

*Dames en Heren Studenten,*

Veel van het bovenstaande is zeker ook van toepassing op Uw onderlinge contacten en die met het personeel – in de meest algemene zin van het woord – van de Hogeschool. Zo zullen studenten en docenten in een voortdurende dialoog van gedachten moeten wisselen over de inhoud van het onderwijs en de vorm waarin het gegeven wordt.

Uw verblijf aan de Hogeschool kenmerkt zich door tijdelijkheid, door snelle evolutie binnen die tijdelijkheid en door grote generatieverschillen. Men heeft nauwelijks een jaar of tien als medewerker aan deze Hogeschool te vertoeven om werkelijk onvoorstelbare veranderingen mee te maken in de opvattingen en de mentaliteit van de studentenpopulaties. Op het ogenblik ontbreekt het in Uw kring zeker niet aan gevoel van verantwoordelijkheid voor de maatschappij. Het is aan de Hogeschool om U te doen inzien dat U Uw eigen mogelijkheden om de maatschappij te verbeteren mede waar kunt maken door middel van een goede beheersing van het vakgebied van Uw keuze.

Ik dank U voor Uw aandacht.