

## Meten is weten, maar hoe snel?

**Citation for published version (APA):**

Kopinga, K. (1995). *Meten is weten, maar hoe snel?* Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1995

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Meten is weten,  
maar hoe snel?

## INTREEREDE

Prof.dr.ir. K. Kopinga



Technische Universiteit Eindhoven

# INTREEREDE

Uitgesproken op vrijdag 6 oktober  
1995 aan de  
Technische Universiteit Eindhoven

Prof.dr.ir. K. Kopinga

Mijnheer de Rector Magnificus,  
Dames en heren,

Naast de theoretische en fenomenologische modelvorming, vormt het waarnemen een van de belangrijkste bestanddelen van de fysica. Nu kan een deel van deze waarnemingen eenvoudigweg gebeuren met de instrumenten die ons door de natuur al gegeven zijn, namelijk onze zintuigen. Voor de beoefening van de fysica zijn vooral het zien, het horen en het voelen belangrijk.

Helaas geven de menselijke zintuigen informatie die, kwantitatief gezien, vrij onnauwkeurig is, met uitzondering uiteraard van het tellen van voorwerpen. Al sinds de oudheid bestaat daarom de behoefte om waarnemingen te kwantificeren. Dit blijkt uit de veelheid aan meetinstrumenten die in de loop van de geschiedenis zijn ontwikkeld. Bekende voorbeelden zijn in dit verband de meetlat, die vrijwel onmisbaar is bij de constructie van werktuigen, en de weegschaal, die een belangrijke rol speelt bij de handel. Een aparte rol in deze beschouwing spelen tijdsintervallen, die wij als mens in feite niet rechtstreeks kunnen waarnemen. Deze beperking is opgeheven door de uitvinding van het uurwerk, waardoor de al duizenden jaren bestaan-

de koppeling van het tijdsbesef aan de zonnestand met beduidend nauwkeuriger waarnemingen kon worden aangevuld.

Gedurende de afgelopen eeuwen is het assortiment aan meetinstrumenten aanzienlijk uitgebreid. Metingen van lichtintensiteit, geluidssterkte en temperatuur, maar ook van bijvoorbeeld elektrische spanning en stroom en magnetische inductie kunnen heden ten dage met een zeer grote nauwkeurigheid worden uitgevoerd.

## Metten

Voor de hedendaagse fysische modelvorming is het vaak nodig verschillende grootheden met een hoge mate van betrouwbaarheid te meten. Ondanks het grote scala aan meetinstrumenten dat hiervoor beschikbaar is, doemen bij deze metingen verschillende soorten problemen op, die ik aan de hand van een eenvoudig voorbeeld zal proberen toe te lichten.

Stel dat we een experiment hebben opgezet, waarbij we vanuit een bepaalde richting een rubberen balletje tegen een vlakke plaat schieten en dat we ons tot doel gesteld hebben de richting te bepalen, waarin dit balletje terugkaatst. De meting zou in dit geval gedaan kunnen worden door een detector op een bepaalde positie in

te stellen, een balletje af te schieten, en na te gaan of de detector het teruggekaatste balletje waarneemt. De detector zou in dit geval kunnen bestaan uit een doorzichtig buisje waarvan de doorsnede iets groter is dan die van het balletje. Met het oog zou dan waargenomen kunnen worden of het teruggekaatste balletje door het buisje vliegt, dus de detector passeert. Om daadwerkelijk te kunnen meten in welke richting het balletje terugkaatst, moet dit experiment een aantal keer worden herhaald, steeds bij een andere positie van de detector.

In principe kan dit alles geheel handmatig geschieden. Als het echter noodzakelijk is de richting waarin het balletje terugkaatst nauwkeurig te kennen, bijvoorbeeld binnen een ruimtehoek van 0.1 graad bij 0.1 graad, is dit een bijzonder omslachtig en vervelend karwei. Het aantal posities waarop de detector moet worden ingesteld bedraagt dan namelijk meer dan honderdduizend. Het is duidelijk dat het in dit geval aanbeveling verdient de positionering en de uitlezing van de detector - indien mogelijk - automatisch te laten geschieden.

Hiervoor moet echter wel het meetinstrument worden aangepast. Als eerste wordt de detector voorzien van een tweetal stappenmotoren, zodat de positionering ervan via een meetcomputer gestuurd kan worden. Aan weerszijden van het

buisje in de detector worden vervolgens een lampje en een fotocel geplaatst, zodanig dat de lichtbundel van het lampje, dwars door het buisje heen, op de fotocel wordt afgebeeld. Wanneer een balletje de detector passeert, dus door het buisje vliegt, wordt de lichtbundel gedurende een korte tijd onderbroken, waardoor de fotocel een elektrisch signaal afgeeft. Dit signaal kan dan door de meetcomputer worden uitgelezen en, tezamen met de bijbehorende positie van de detector, worden opgeslagen. Ook de voorziening waarmee de balletjes worden afgevuurd dient geschikt gemaakt te worden voor besturing via de computer.

## Modelvorming

Als we deze meting hebben uitgevoerd en het aantal gedetecteerde balletjes uitzetten als functie van de positie van de detector, dan zien we dat een scherpe piek optreedt bij een heel bepaalde positie, waarvoor geldt dat "de hoek van inval gelijk is aan de hoek van terugkaatsen". Dit is trouwens een ervaringsfeit dat u ook tijdens een spelletje squash kunt waarnemen. Bij een meer nauwkeurige bestudering van het resultaat van de meting blijkt echter dat, behalve in deze welbepaalde richting, ook een heel klein aantal van de balletjes wordt teruggekaatst in andere richtingen. Bij squash zou dit veroorzaakt

kunnen worden door het “spinnen” van de bal. Ook als we echter het afschieten van de balletjes zo inrichten dat de balletjes niet om hun as draaien, blijkt dit effect nog steeds op te treden. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de plaat waartegen de balletjes botsen niet helemaal vlak is, maar een zeker aantal oneffenheden bevat. Het ligt dan ook voor de hand om een fysisch model op te stellen dat het resultaat van het zojuist beschreven experiment relateert aan de vorm en het aantal van deze oneffenheden. Dit model kan vervolgens worden getoetst via experimenten met platen met verschillende, bewust aangebrachte, oneffenheden. Het is duidelijk dat een dergelijke grote reeks metingen voor mensen welhaast ondoenlijk wordt, dus automatisch moet worden uitgevoerd. Hiervoor is de besturing van het experiment en de verzameling van de meetresultaten met behulp van een computersysteem noodzakelijk.

Als we het door het fysische model voorspelde gedrag vergelijken met de meetresultaten blijkt een redelijke overeenstemming op te treden, met uitzondering echter van een aantal posities van de detector, waarbij meer balletjes worden gedetecteerd dan voorspeld. Dit zou verklaard kunnen worden door aan te nemen dat de balletjes tijdens hun botsing met de plaat energie verliezen. Om dit te testen zouden

we de snelheid van de balletjes vóór en na hun botsing met de plaat moeten meten, omdat we weten dat de energie van een balletje evenredig is met de massa ervan en het kwadraat van de snelheid.

Dit soort waarnemingen moet met elektronische hulpmiddelen worden uitgevoerd, omdat de menselijke zintuigen voor het meten van snelheden ontoereikend zijn, ook al kunnen we, strikt genomen, de balletjes zien. Een oplossing biedt het gebruik van detectoren, waarin twee lampjes en twee fotocellen zijn opgenomen, en wel zo dat niet één lichtbundel onderbroken kan worden, maar twee, die zich op enige afstand van elkaar bevinden. Een dergelijke detector geeft, als een balletje er doorheen vliegt, twee elektrische pulsjes af. Deze pulsjes kunnen met een meetcomputer worden geregistreerd. Door het tijdsverschil tussen deze pulsjes te delen door de afstand tussen de twee lampjes in zo'n detector kan de snelheid worden bepaald. De betreffende deling kan door de meetcomputer zelf worden uitgevoerd. Een dergelijke snelheidsmeter dient ook geplaatst te worden aan de uitgang van het apparaat, waarmee de balletjes worden afgeschoten. Verder kan, omdat we de geometrie van de opstelling kennen, het tijdsverschil tussen het afschieten van het balletje en de detectie ervan gebruikt worden om de berekende

snelheden, en daarmee de correcte werking van de detectoren, te controleren. Ook deze controle kan door de meetcomputer worden uitgevoerd.

## Automatiseren

Het bovenstaande voorbeeld heeft wellicht aangetoond dat voor het uitvoeren van bepaalde fysische experimenten een meetcomputer onontbeerlijk is. Ik wil het voorbeeld nu nog iets verder uitwerken, om duidelijk te maken dat het beschikbaar zijn van een meetcomputer een grote invloed kan hebben op de opzet van een experiment en dat sommige metingen zonder een dergelijke voorziening eenvoudigweg niet mogelijk zijn.

Welnu, het is duidelijk dat bij de hierboven beschreven experimenten een groot aantal van de afgeschoten balletjes niet wordt gedetecteerd, omdat de detector zich meestal niet bevindt op die positie, die overeenkomt met de richting waarin het balletje door de plaat wordt weerkaatst. Dit kan in een aantal gevallen aanleiding geven tot problemen, bijvoorbeeld als we de eigenschappen willen weten van een plaat die bestaat uit een materiaal dat door het beschieten met de balletjes beschadigt.

Als we er vanuit mogen gaan dat we voor de verwerking van de door

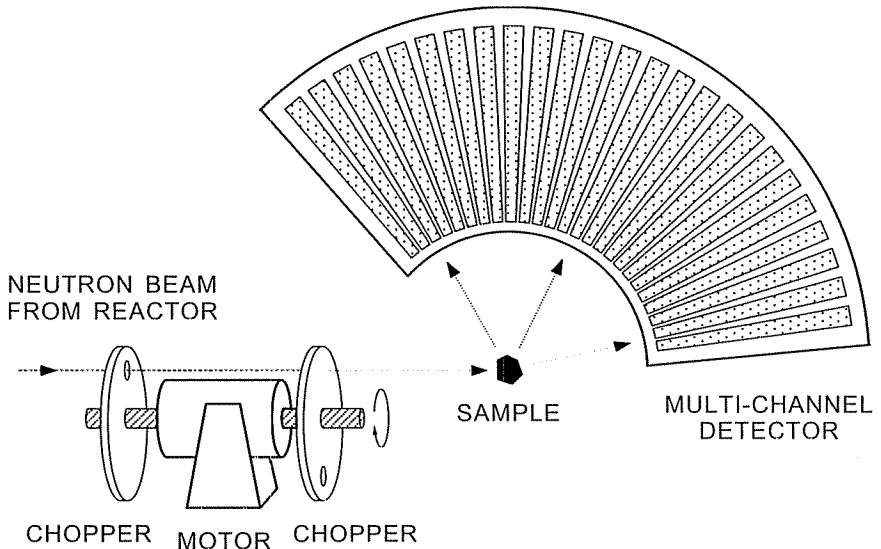
de experimentele opstelling geleverde signalen een computer ter beschikking hebben, zouden we dit probleem kunnen ondervangen door gebruik te maken van een zeer groot aantal detectoren, die onder verschillende hoeken met de plaat kunnen worden ingesteld. Na het afschieten van een balletje worden dan al deze detectoren uitgelezen. Dit betekent dat veel meer van de afgeschoten balletjes daadwerkelijk zullen worden gedetecteerd, waardoor het experiment veel sneller een betrouwbaar resultaat oplevert. Hierdoor blijft de beschadiging van de plaat beperkt.

Een heel ander type probleem kan ontstaan doordat in de meeste fysische experimenten de projectielen geen rubberen balletjes zijn, maar ionen of elementaire deeltjes zoals elektronen, protonen of neutronen. Deze deeltjes worden niet één voor één afgeschoten, maar komen in aantallen van soms miljoenen per seconde uit een bron. Wanneer het te onderzoeken preparaat deze deeltjes in bepaalde richtingen sterk verstrooit, is de hoeveelheid deeltjes die per seconde sommige detectoren bereikt zo groot, dat er meetgegevens verloren kunnen gaan als de verschillende detectoren na elkaar in de tijd - in vakjargon serieel - worden uitgelezen. In dit soort situaties worden de detectoren dan ook bij voorkeur tegelijkertijd - in vakjargon parallel - uitgelezen. Het

spreekt vanzelf dat de meet-computer waarmee de gegevens worden verwerkt aan deze strategie moet zijn aangepast.

Een laatste punt waarop ik in het kader van dit voorbeeld de aandacht wil vestigen kan geïllustreerd worden aan de hand van de in het begin van dit betoog al genoemde weegschaal. Wij zijn gewend dat bij het wegen van voorwerpen het resultaat, in dit geval de massa, meteen kan worden afgelezen. De gevoelsmatige aanduiding "meteen" hoort in feite meer exact geformuleerd te worden als "binnen een ge-

garandeerde maximale tijd". Bij veel fysische experimenten, zoals het zojuist geschetste, wordt het resultaat pas verkregen door combinatie van een groot aantal waarnemingen en de nodige berekeningen. Het is niet eenvoudig dit geheel onder alle omstandigheden binnen een gegarandeerde maximale tijd te laten plaatsvinden, vooral niet als de meting ononderbroken moet worden voortgezet en er geen meetgegevens verloren mogen gaan. Dit leidt tot zeer specifieke eisen aan de architectuur van het automatiseringssysteem, de gebruikte componenten en de programmatuur.



*Toepassing van meerdere detectoren bij een neutronenverstrooiingsexperiment. Neutronen met de gewenste snelheid worden geselecteerd door middel van het toerental van de choppers. Het aantal door het te onderzoeken preparaat verstrooide neutronen dat elk van de detectoren bereikt, wordt geteld. De thans gebruikte multidetectoren bevatten soms meer dan 1000 elementen.*



## Fysisch Technische Informatieverwerking

Na deze inleiding zou ik wat nader willen ingaan op de inhoud van het vakgebied Fysisch Technische Informatieverwerking.

Een mogelijke definitie van dit vakgebied zou kunnen zijn: "Dat deel van de informatica, dat de facto door fysici wordt bewerkt". Deze definitie leidt echter niet alleen tot misverstanden, maar heeft ook als nadeel dat ze teveel nadruk legt op de automatisering van experimenten en het gebruik van computers, en niet op de ontwikkeling van de meetmethode of de meetopstelling zelf. Fysische informatie ontstaat, strikt genomen, al in de materialen waaraan of door middel van de materialen waarmee gemeten wordt en niet pas nadat de meetgegevens zich in digitale vorm in een computer bevinden. Het vakgebied Fysisch Technische Informatieverwerking richt zich op het gehele traject dat de fysische informatie doorloopt: vanaf het moment van ontstaan tot en met de presentatie ervan, inclusief een eventuele terugkoppeling ervan naar het experiment. Het zojuist gegeven voorbeeld heeft al geïllustreerd dat deze aspecten onderling zeer sterk verweven zijn.

Binnen de vakgroep, waarvan ik deel uitmaak, wordt veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van

strategieën waarmee fysische informatie binnen een gegarandeerde maximale tijd - in vakjargon real-time - kan worden verwerkt. Het woord "Technisch" in de benaming van het vakgebied dient hierbij zo geïnterpreteerd te worden dat de ontwikkelde strategieën en concepten daadwerkelijk worden getest, geïmplementeerd en toegepast; dit laatste bij tal van experimenten binnen en buiten de eigen faculteit. Naast de ontwikkeling of verfijning van fysische meetmethoden en meetinstrumenten behelst het vakgebied ook de ontwikkeling van real-time data-acquisitie systemen. Vermeld dient te worden dat deze laatste activiteit in belangrijke mate wordt gesteund door de Bedrijfs-groep Laboratorium-automatisering van de faculteit Technische Natuurkunde.

## Data-acquisitie systemen

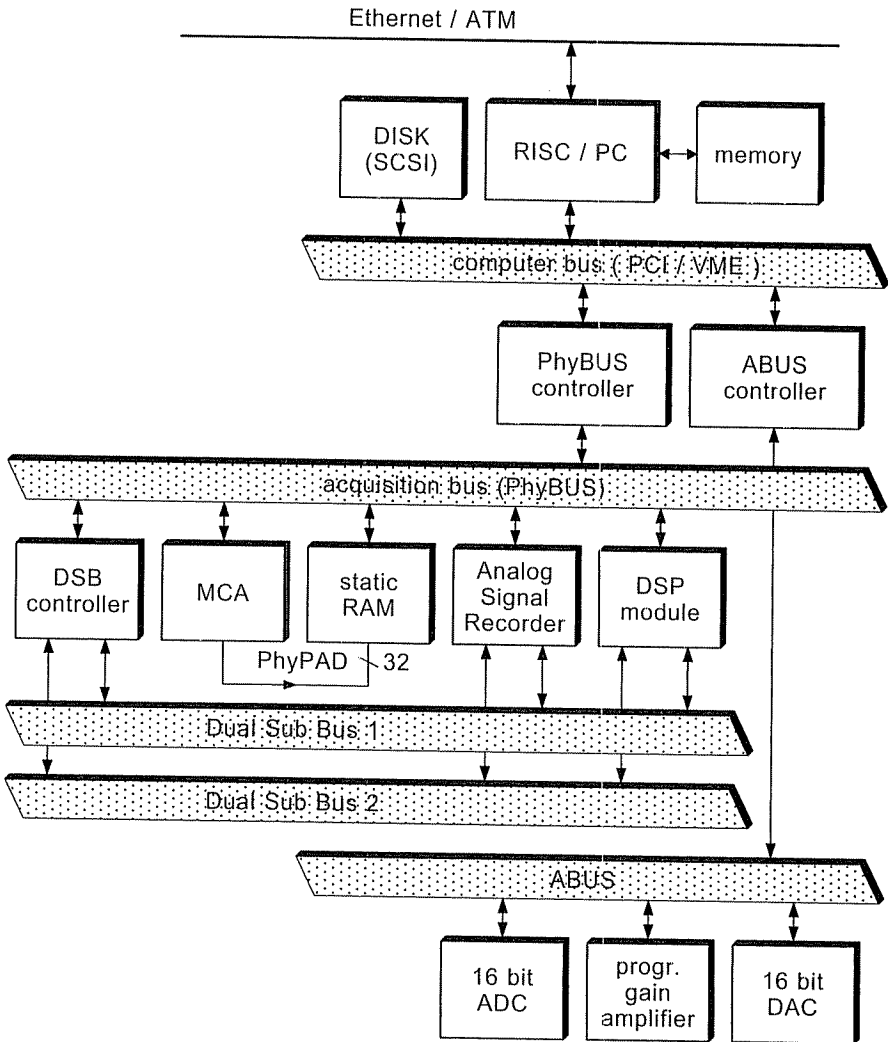
Sommigen van U zullen zich wellicht afvragen of de problemen, die bij de verzameling en de verwerking van fysische meetgegevens optreden, niet eenvoudigweg met Personal Computers (PC's) of andere commercieel verkrijgbare kanten-klaar-systemen kunnen worden opgelost. Omdat het hier niet de plaats is om dit punt via een inhoudelijk technische argumentatie in detail uit te werken, wil ik een en ander toelichten met behulp van een voorbeeld dat U wellicht meer

aanspreekt. In dit voorbeeld zal de PC vergeleken worden met het meest gebruikte middel van vervoer over de weg, namelijk de personenauto.

Voor het vervoer van personen is dit voertuig zeer geschikt: het is comfortabel, relatief eenvoudig en op uniforme wijze te bedienen, en geeft het individu een zeker gevoel van vrijheid. Verder is dit voertuig voor regulier gebruik snel genoeg, hoewel sommige autorijders behoefte hebben aan steeds meer motorvermogen en graag het nieuwste model willen bezitten. Ook blijkt dat sommige autorijders, vooral de jeugdige, hun voertuig uitsluitend gebruiken voor amusement. Voor het vervoer van grote bouwdelen, bijvoorbeeld dakspanten, zijn personenwagens echter ongeschikt, ook al zou het motorvermogen van een aantal van deze voertuigen tezamen op zich voldoende zijn. Voor een dergelijk type vervoer moet een grote oplegger, een zogenaamde dieplader, worden gebruikt. Het zal U duidelijk zijn dat in de nu gebruikte beeldspraak het vervoer van de dakspanten vergeleken moet worden met de verzameling en verwerking van meetgegevens en de dieplader met een real-time data-acquisitie systeem. We kunnen deze beeldspraak dan nog wat verder uitwerken. Als we een personenauto voorzien van een aanhangwagen, kunnen ook hiermee bouwdelen

worden vervoerd, maar dan mogen deze niet al te groot of te zwaar zijn. Anderzijds is de dieplader, behalve voor het vervoer van dakspanten, in principe ook te gebruiken voor het vervoer van personen, hoewel minder snel en comfortabel dan met een personenwagen, terwijl ook aan het bedieningsgemak wat minder aandacht is besteed. Bij de aanschaf van een dergelijke dieplader is het overigens niet verstandig om te kiezen voor een type waarmee slechts één soort dakspanten, of uitsluitend dakspanten, vervoerd kunnen worden. Gedurende de gebruiksduur van een dergelijk voertuig zullen namelijk zeer waarschijnlijk de eisen met betrekking tot de te vervoeren objecten veranderen.

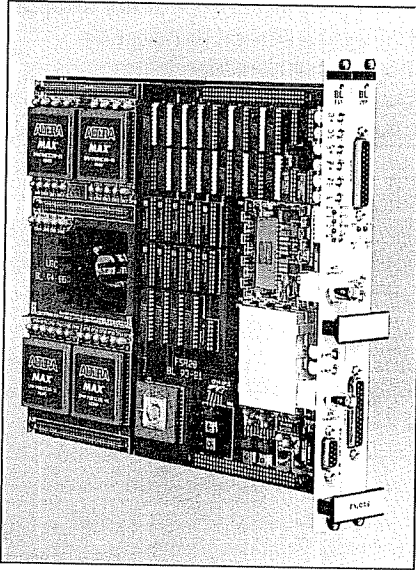
Dergelijke argumenten gelden, mutatis mutandis, natuurlijk ook voor de keuze van een goed realtime data-acquisitie systeem. Een dergelijk systeem is modulair opgebouwd en bevat, naast de meetcomputer zelf, een of meer zogeheten interfaces, die de communicatie tussen de computer en het experiment verzorgen. De interfaces in dit systeem dienen nagenoeg autonoom te kunnen werken, zodat de meetcomputer kan worden ontlast van tijdkritische taken en het systeem als geheel een grote mate van flexibiliteit bezit. Bij een dergelijke opzet treden bij latere uitbreidingen nauwelijks problemen op; dit in tegenstelling tot het merendeel van de kant-en-



*Voorbeeld van een modulair opgezet data-acquisitie systeem. Door het gebruik van meerdere bussystemen wordt een grote flexibiliteit bereikt en worden communicatie-bottlenecks weggenomen.*

klaar-systemen. Bij de genoemde uitbreidingen moet trouwens niet alleen gedacht worden aan de omvang, maar ook aan de snelheid

en de beschikbare functionaliteit. Een modulair opgezet systeem is in principe geheel open voor technologische vernieuwingen.



*De hier afgebeelde Analog Signal Recorder kan 2 signalen bemonsteren met een frequentie van 20 MHz. Desgewenst kan door hdeze module zelf een middeling worden uitgevoerd over een aantal opeenvolgende perioden van elk signaal. Indien nodig kan ononderbroken in de tijd worden gemeten*

## Onderzoekprojecten

Uit mijn betoog heeft U wellicht al kunnen opmaken dat het vakgebied Fysisch Technische Informatieverwerking een groot aantal multidisciplinaire aspecten bevat. Een inventarisatie van de werkzaamheden in de vakgroep conform de thans in Nederland gangbare disciplines levert - met betrekking tot de methodologie - de fysica, de wiskunde, de informatica en de

elektrotechniek. Beschouwen we echter ook de gebieden, waarbinnen de door de vakgroep ontwikkelde concepten op dit moment worden toegepast, dan kan deze opsomming worden uitgebreid met de bouwkunde, de scheikunde, de werktuigbouwkunde en delen van de medische technologie. De combinatie van de binnen deze disciplines ontwikkelde expertise met de bij de vakgroep en de faculteit Technische Natuurkunde aanwezige kennis en mogelijkheden blijkt vaak bijzonder vruchtbaar te zijn. Het zou te ver voeren om de betreffende samenwerkingsverbanden hier allemaal de revue te laten passeren; ik wil er daarom één uitlichten, en wel het onderzoek naar de vochtthuishouding in poreuze materialen.

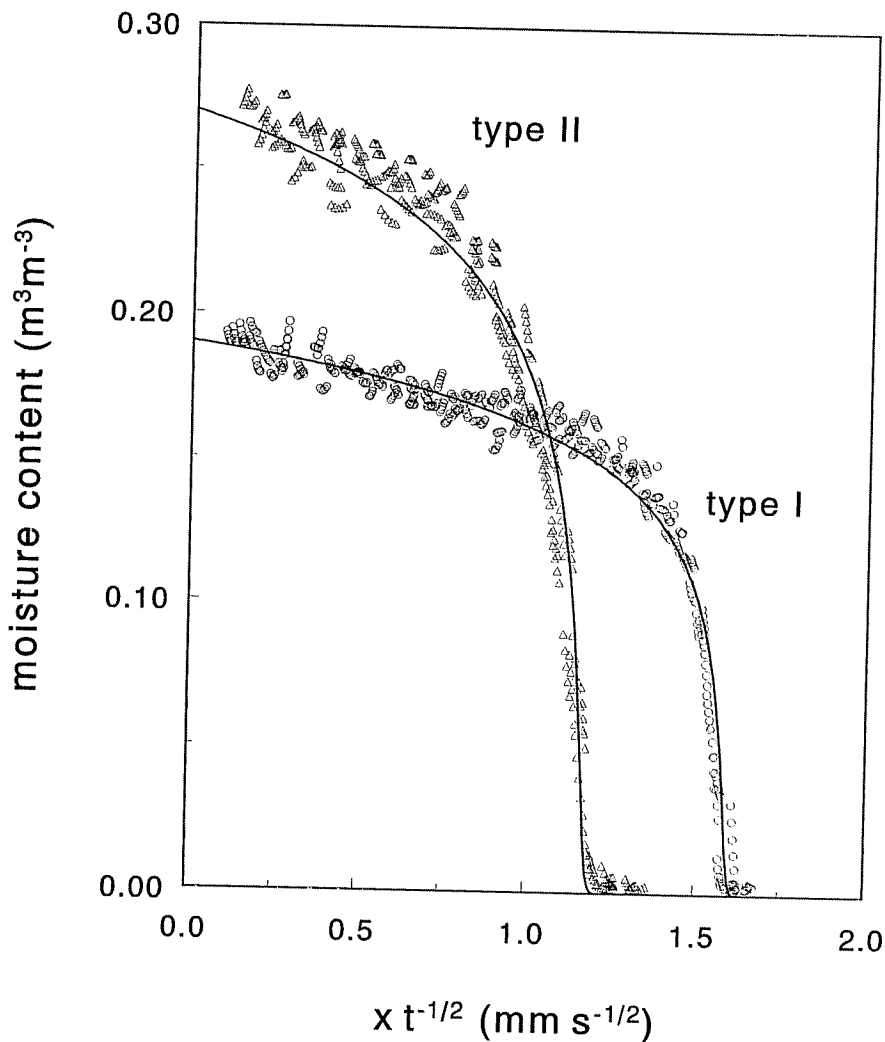
De directe aanleiding tot dit onderzoek werd gevormd door de vraag van een aantal nederlandse baksteenproducenten of het mogelijk zou zijn de vochtthuishouding in baksteenmetselwerk in kaart te brengen. Vocht in dit soort bouwconstructies wordt namelijk gezien als de drijvende kracht achter tal van schademechanismen, zoals vorstschade, zoutuitbloei en afschilferen. Omdat baksteen en mortel poreuze materialen zijn, waarin het vochttransport bijzonder gecompliceerd is, bevat deze vraag zowel belangrijke fundamentele als praktische aspecten. Verder waren er ook geen betrouwbare meet-

methoden beschikbaar om vochtprofielen in dit soort materialen als functie van de tijd te meten, zodat de vraagstelling ook vanuit de Fysisch Technische Informatieverwerking bijzonder interessant was.

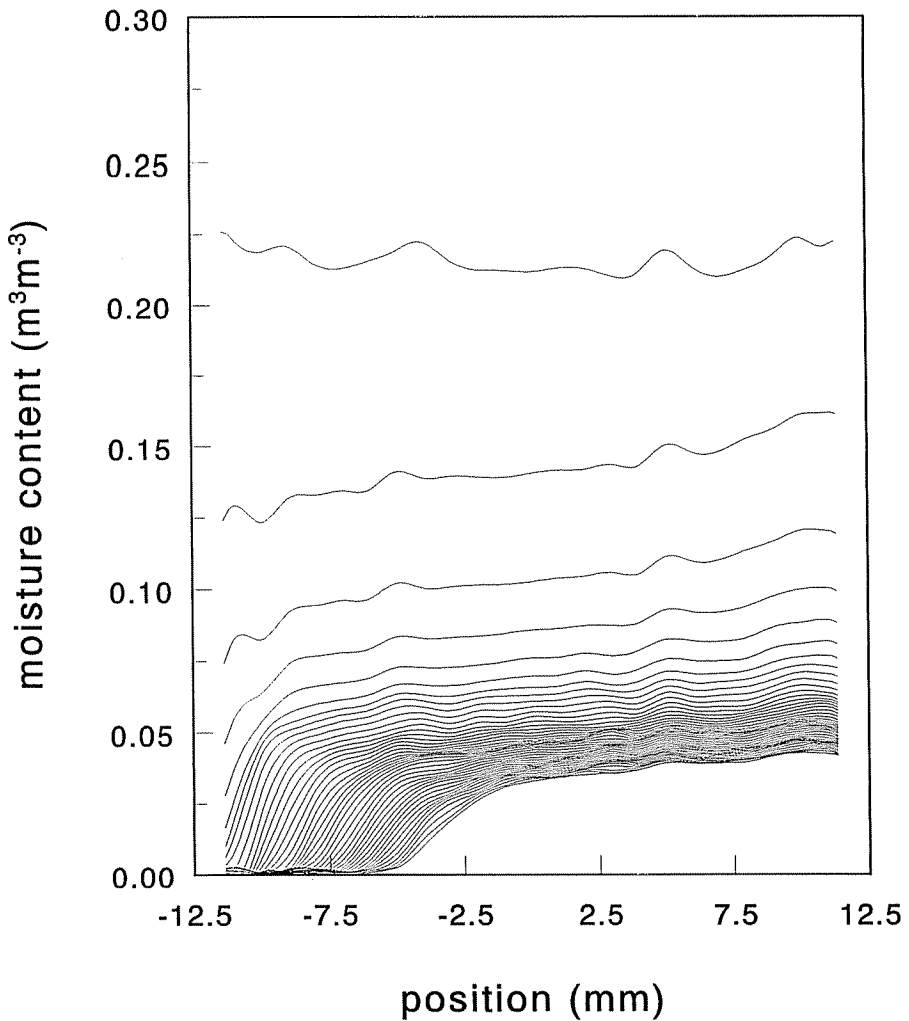
Nu was al bekend dat de bepaling van de vochtverdeling in biologische weefsels in principe heel goed mogelijk is. Verschillende fabrikanten leveren instrumenten die gebaseerd zijn op kernspinresonantie, zogenaamde MRI-scanners, die in steeds meer ziekenhuizen worden toegepast. Deze instrumenten gebruiken een combinatie van een statisch magneetveld en een hoogfrequent wisselveld om de kernen van de in het weefsel aanwezige waterstof-atomen in resonantie te brengen. Dit is mogelijk omdat atoomkernen een (zeer klein) magnetisch moment bezitten. De frequentie, waarbij kernspinresonantie kan optreden, is evenredig met het statische magneetveld, waarbij de evenredigheidsconstante voor elke soort atoomkernen een zekere, karakteristieke waarde heeft. Door het hoogfrequente wisselveld in de vorm van een serie korte pulsen in te stralen, kan de richting van de magnetische momenten van de gewenste soort atoomkernen op een zeer bepaalde wijze worden gemanipuleerd. Een korte tijd later wordt door deze momenten tezamen dan een soort radiosignaal uitgezonden, het zogenaamde spin-echo signaal, dat

informatie bevat over onder andere het aantal kernen dat door de hoogfrequent pulsen is beïnvloed. Deze informatie kan via moderne signaalbewerkingstechnieken uit dit signaal worden verkregen. Door het statische magneetveld afhankelijk te maken van de plaats kan de ruimtelijke verdeling van de waterstofkernen, en daarmee de vochtverdeling, worden bepaald.

In principe leek de MRI (Magnetic Resonance Imaging) techniek dus bruikbaar voor het gestelde probleem. Veel gangbare poreuze bouwmaterialen blijken echter dermate veel magnetische verontreinigingen te bevatten, dat met de commercieel verkrijgbare MRI-apparaten nauwelijks enig signaal wordt waargenomen. Ten gevolge van deze verontreinigingen blijkt de informatie, die tijdens de meting in het systeem van de magnetische momenten van de waterstofkernen ontstaat, 100 tot 1000 maal sneller verloren te gaan dan het geval is bij vocht dat zich in biologische weefsels bevindt. Om deze reden is een MRI-apparaat ontwikkeld, dat speciaal geoptimaliseerd is voor metingen aan verontreinigde materialen. Deze ontwikkeling is gerealiseerd binnen een samenwerkingsverband van de groepen Fysisch Technische Informatieverwerking en Coöperatieve Verschijnselen van de faculteit Technische Natuurkunde en de vakgroep Fysische Aspecten van



Resultaat van opzuigproeven aan 2 verschillende soorten baksteen. Voor elke steen blijken de met behulp van MRI gemeten profielen na de zogenaamde Boltzmann-transformatie op één kromme samen te vallen. Dit is een rechtstreeks bewijs dat het opzuiggedrag met een (niet-lineaire) diffusievergelijking te beschrijven valt.



*Het drooggedrag van rode baksteen. Bij dit experiment werd een met vocht verzadigd proefstuk gedroogd door er aan één kant lucht langs te blazen (linkerzijde in de figuur). De met behulp van MRI gemeten vochtprofielen corresponderen met tijden die onderling steeds een uur verschillen. Na ongeveer 7 uur blijkt een droogfront te ontstaan, dat langzaam de steen intrekt.*

de Gebouwde Omgeving van de faculteit Bouwkunde. In het thans aanwezige prototype, dat volledig modulair is opgezet, gebeurt de feitelijke meting, dus het opwekken van de hoogfrequent pulsreeks en de detectie van het resulterende spin-echo signaal, ongeveer 100 maal sneller dan in gangbare MRI-apparatuur. Dit stelt bijzonder hoge eisen aan de besturing van het experiment en de verzameling van de meetgegevens. Deze taken worden uitgevoerd door een zogeheten Physics Data Acquisition System, kortweg PhyDAS, dat binnen de faculteit Technische Natuurkunde is ontwikkeld, en bij meer dan 100 experimenten wordt toegepast. Het in het prototype opgenomen PhyDAS systeem kan desgewenst ook gebruikt worden om de omgevingscondities van het te meten proefstuk te controleren. Hierbij moet gedacht worden aan het statische magneetveld en de temperatuur, maar in de nabije toekomst ook aan eventuele temperatuurgradiënten, de druk en de relatieve luchtvochtigheid.

Omdat het prototype zowel qua hardware als qua software volledig modulair was opgezet, bleek het niet alleen bruikbaar te zijn voor het onderzoek aan poreuze bouwmaterialen, maar ook voor het bestuderen van het ontwateringsproces van verontreinigd slib dat afkomstig is uit zuiveringsinstallaties van rioolwater. Een verkennend onderzoek

op dit gebied is uitgevoerd in nauwe samenwerking met de vakgroep Chemische Proceskunde van de faculteit Scheikundige Technologie.

De potentiële mogelijkheden van het gebruik van MRI voor de bestudering van de vochtinhouding in allerlei verontreinigde materialen zijn hiermee echter nog lang niet uitgeput. Het verheugt mij dan ook bijzonder dat de ontwikkeling van deze meetmethode, dankzij financiële steun van het College van Bestuur van de TUE en de Stichting voor de Technische Wetenschappen (STW), de komende jaren kan worden voortgezet.

Ik wil toch nog even terugkomen op de oorspronkelijke probleemstelling: het in kaart brengen van de vochtinhouding in baksteenmetselwerk. Het is met het ontwikkelde MRI-apparaat onmogelijk om het vochttransport in complete muren en dergelijke te meten. Gemeten wordt daarom aan proefstukken, die bestaan uit baksteen, uit mortel, of die een of meer baksteen-mortelovergangen bevatten. Door de betreffende meetresultaten te interpreteren in termen van een geschikt fysisch model, in dit geval een niet-lineaire diffusievergelijking, kunnen voor elk materiaal een aantal karakteristieke parameters worden bepaald, die het vochttransport nauwkeurig beschrijven. Deze parameters kunnen op hun beurt als uitgangspunt dienen voor nume-



rieke simulaties van bijvoorbeeld een complete muur. Een dergelijke simulatie kan echter alleen met behulp van zeer geavanceerde programmatuur en uiterst krachtige computers, zogeheten supercomputers, worden uitgevoerd. In nauwe samenwerking met de vakgroep Analyse van de faculteit Wiskunde en Informatica worden dit type berekeningen opgezet; een en ander binnen het kader van de stimuleringsregeling Technologie voor Duurzame Ontwikkeling (TDO).

## Synthese

Ik heb aan het MRI-project zojuist wat extra aandacht besteed, omdat hierbij veel facetten van de Fysisch Technische Informatieverwerking naar voren komen. De belangrijkste zijn de fysische achtergronden van het verschijnsel kernspinresonantie, de factoren en materiaaleigenschappen die van invloed zijn op het door de kernspins opgewekte signaal, de elektronische hulpmiddelen die nodig zijn om dit signaal op te wekken en te detecteren, de real-time omzetting van dit signaal in digitale vorm, de verwerking en presentatie ervan, de voor dit geheel benodigde hardware en software, en tot slot de sturing van de experimentele opstelling en de regeling van de omgevingscondities van het proefstuk. Ik kan U verzekeren dat het een bijzondere ervaring

is al deze facetten, in hun onderlinge samenhang, te bewerken.

Voor de interpretatie van de verkregen meetresultaten is een stuk fysische modelvorming en analyse onontbeerlijk, waarmee duidelijk geïllustreerd wordt dat de technische natuurkunde in dit soort onderzoek als basiswetenschap een belangrijke rol speelt. Anderzijds wil ik benadrukken dat het project in deze vorm niet mogelijk geweest zou zijn zonder een intensieve samenwerking tussen natuurkundigen, bouwkundigen, scheikundigen en wiskundigen. Opvallend is, dat de bestaande grenzen tussen de verschillende faculteiten hierbij geen noemenswaardige belemmering gevormd hebben; de aanwezige "cultuurverschillen" bleken juist bijzonder inspirerend te werken. Het gegeven dat het project door de betrokkenen op de "werkvloer" is opgestart en wordt gedragen moet hierbij vermoedelijk niet worden onderschat.

Na alle aandacht die ik tot nu toe gegeven heb aan een deel van het onderzoek binnen de vakgroep, wil ik nu even stilstaan bij het onderwijs in het betreffende vakgebied.

Het zal U waarschijnlijk niet verbazen dat, behalve het onderzoek, ook het door de vakgroep verzorgde onderwijs een sterk technisch karakter heeft. In globale termen richt het zich op de verzameling en

de verwerking van meetgegevens; onderwerpen die in de verschillende colleges en practica aan de orde komen zijn fysische meetmethoden en meettechnieken, real-time data-acquisitie systemen, signaalverwerking en verder klinisch fysische meettechnieken, in het bijzonder beeldvormende technieken.

De bestaande verwevenheid van onderwijs en onderzoek aan de TUE, naar mijn mening een van de vereisten voor een technisch wetenschappelijke opleiding, maakt het mogelijk om studenten in alle fasen van hun studie na de propaedeutische bij de verschillende projecten te betrekken. Het multidisciplinaire karakter van veel van deze projecten en de veelvuldige contacten met het bedrijfsleven of andere instellingen blijken een deel van de studenten sterk aan te spreken. Anderzijds vormt het feit dat jonge, gemotiveerde, soms wat onconventionele mensen aan deze projecten deelnemen een enorme stimulans. Veel projecten hebben een beperkte looptijd, zijn resultaat-gericht en vereisen een integratie van elementen uit meerdere vakgebieden. Daardoor leent het werk binnen de vakgroep zich uitstekend voor de scholing van ontwerpers, bijvoorbeeld in het kader van de 2-jarige vervolgopleiding Fysische Instrumentatie.

Tot slot wil ik enkele opmerkingen maken met betrekking tot de

toekomst van het vakgebied.

Steeds weer zullen, naast de fenomenologische en theoretische modelvorming, experimenten nodig zijn om deze modellen te verifiëren. Een deel van deze experimenten zal met behulp van de traditionele aanpak niet, of alleen met onvoldoende nauwkeurigheid, kunnen worden uitgevoerd. Deze aanpak, waarbij de meetgegevens eerst worden verzameld en opgeslagen, en naderhand pas verwerkt en geanalyseerd, geeft met name problemen als de stroom meetgegevens zeer groot wordt of als, afhankelijk van de resultaten, gericht en snel in het experiment moet kunnen worden ingegrepen. Dit type experimenten zal een van de grote uitdagingen binnen het vakgebied blijven vormen.

Ook zullen steeds weer nieuwe ontwikkelingen van de hardware en de software er toe leiden dat experimenten die voorheen niet mogelijk waren, in de toekomst wel of met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden uitgevoerd. Een toenemende bekendheid van de mogelijkheden op het gebied van de experimentbesturing en de gegevensverwerking bij alle betrokkenen maakt dat het steeds minder voorkomt dat pas nagedacht wordt over de implementatie van de automatisering van een experiment, nadat het al volledig is opgezet.

De hierboven geschetste ontwikkelingen geven de mogelijkheid geheel nieuwe strategieën voor de data-acquisitie en de dataverwerking te implementeren. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan de al eerder genoemde overgang van serieel naar parallel meten, het real-time transport van gegevens via snelle netwerken, de inzet van meerdere computers of processoren tegelijkertijd en de visuele presentatie van grote hoeveelheden gegevens. Een integrale benadering van deze mogelijkheden zal in de toekomst, nog meer dan voorheen, noodzakelijk zijn.

## Dankwoord

Mijnheer de Rector Magnificus,  
Dames en heren,

Ik wil deze gelegenheid benutten om het College van Bestuur van de TUE te bedanken voor het in mij gestelde vertrouwen. Het Bestuur van de faculteit Technische Natuurkunde en de faculteitsraad ben ik zeer erkentelijk voor hun geslaagde pogingen het vakgebied Fysisch Technische Informatieverwerking binnen de faculteit een plaats te geven.

Met uitzondering van twee onderbrekingen van ongeveer een jaar, ben ik al meer dan 20 jaar werkzaam binnen de faculteit Technische Natuurkunde, eerst op het gebied van de Vaste Stof Fysica, de

laatste jaren op mijn huidige vakgebied. Heel veel leden van de faculteitsgemeenschap hebben op enigerlei wijze bijgedragen aan mijn wetenschappelijke, mijn persoonlijke en mijn sociale ontwikkeling. Hiernaast heb ik veel profijt gehad van de samenwerking met anderen, zowel binnen als buiten de TUE. Het is onmogelijk om alle betrokkenen op dit moment persoonlijk te bedanken. Ik wil echter een aantal van hen met name noemen.

Waarde collega de Jonge, beste Wim,

ik heb het voorrecht gehad een groot deel van mijn loopbaan bij de TUE bij jou in de groep te mogen werken. De invloed die jij hebt gehad op mijn wetenschappelijke vorming roept bij mij onmiskenbaar het beeld op van de manier waarop iemand het fietsen wordt geleerd. Zodra jij ontdekte dat ik mij op mijn eerste fietsje min of meer overeind kon houden, heb jij me al snel ertoe overgehaald de zijwieltjes ervan af te halen. Kort daarna gaf jij me een groter exemplaar, dat buitengewoon wendbaar was. Toen jij vond dat ik me daarop voldoende gemakkelijk kon voortbewegen, heb jij een tandem aangeschaft en mij aangeboden daarop plaats te nemen: jij aan het stuur en ik achterop. Deze tandem gaf ons de mogelijkheid om, vergeleken met fietsers die alleen reden, zeer hoge snelheden te ontwikkelen, wat we dan ook geregeld deden. Hoewel jij steeds

voorop zat, had ik toch voldoende invloed op de richting waarin we reden, door op het juiste moment flink naar links of rechts te leunen. De laatste jaren heb jij mij de vrijheid gegeven om, als ik het op de tandem even voor gezien hield, proefritjes te maken op een rijwiel dat er in mijn ogen heel mooi uitzag. Ook nu ik dit laatste exemplaar permanent gebruik, is het nog steeds een genot af en toe een eindje met je op te rijden.

Naast jou wil ik ook de andere leden van de groep Coöperatieve Verschijnselen bedanken: de ongedwongen, produktieve en collegiale sfeer in deze groep zal ik mij met plezier blijven herinneren.

Waarde collega Wijn, beste Pieter, wij zijn allebei vanaf het begin betrokken geweest bij de samenwerking tussen de faculteit Technische Natuurkunde en het Sint Joseph Ziekenhuis, eerst in Eindhoven, later in Veldhoven. Ik heb een grote bewondering voor de manier waarop je, ondanks je drukke werkzaamheden in het ziekenhuis, gestalte kunt geven aan een stuk onderzoek en onderwijs op het gebied van de Klinisch Fysische Meettechnieken.

Beste Fred, naast hoofd van de Bedrijfsgroep Laboratoriumautomatisering van de faculteit ben jij nadrukkelijk lid van de vakgroep. Samen met de andere leden van de bedrijfsgroep slaag jij

er steeds weer in de meest buitensporige wensen op het gebied van real-time data-acquisitie om te zetten in uitstekend functionerende, betrouwbare hardware. Opvallend is dat je bij deze werkzaamheden de grens tussen technisch en wetenschappelijk bezig zijn vrij moeiteloos in beide richtingen kunt overschrijden. Jouw tomeloze enthousiasme is een bron van inspiratie voor velen in jouw omgeving.

Beste Leo en Berrie, bij de werkzaamheden binnen de vakgroep is de inbreng van studenten en promovendi onmisbaar. Dit geldt minstens evenzeer voor de bijdrage van medewerkers, zoals jullie, die via externe financiering tijdelijk zijn aangesteld. Het is buitengewoon triest te moeten constateren dat de TUE op dit moment geen mogelijkheden heeft om mensen van jullie kaliber aan zich te binden.

Naast diegenen die ik zojuist met name genoemd heb, geldt mijn dank natuurlijk ook alle andere leden van mijn huidige vakgroep en van de Bedrijfsgroep Laboratoriumautomatisering. De manier waarop ik jullie de afgelopen jaren heb mogen meemaken geeft mij het volste vertrouwen in de toekomst.

Beste pa en ma, zonder de opvoeding die ik van jullie gekregen heb, die in hoofdlijnen calvinistisch was, maar gelardeerd met bourgondische elemen-

ten, en die mij alle ruimte bood om mijn belangstelling voor de techniek te ontplooiën, zou ik hier nu niet gestaan hebben. Ik ben heel dankbaar dat jullie hier beiden aanwezig kunnen zijn.

Lieve Ine, Jasper, Floris en Lianne,  
jullie moeten je man, dan wel je vader, delen met een baan die hem soms helemaal in beslag lijkt te nemen. Ik wil jullie bedanken voor een hoop van die dingen in het leven die mijn werk, hoe veelzijdig en uitdagend dat ook is, me nooit zal kunnen bieden.

Ik heb gezegd.

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

Informatie:  
Academische en Protocolaire Zaken  
Telefoon (040-47)2250/4676

ISBN 90 386 0047 X



Klaas Kopinga werd in 1948 geboren in Eindhoven.

Na het behalen van het Gymnasium- $\beta$  diploma in 1966, studeerde hij Technische Natuurkunde aan de Technische Hogeschool in Eindhoven. In 1976 promoveerde hij op een experimenteel/theoretisch onderzoek aan quasi eendimensionale magnetische systemen.

In 1978 trad hij in dienst van de Technische Universiteit Eindhoven, waar hij zich bezig hield met de bestudering van magnetische verschijnselen in vaste stoffen, daarbij gebruik makend van een grote variëteit aan experimentele meettechnieken.

In 1983 was hij verbonden aan het Hahn-Meitner-Institut in Berlijn, alwaar hij onderzoek deed met behulp van neutronenverstrooiingstechnieken.

Daarna heeft hij zich binnen de Technische Universiteit in toenemende mate bezig gehouden met de ontwikkeling en verfijning van meetmethoden en de integratie van computers in fysische experimenten.

Per 1 februari 1994 is hij binnen de faculteit Technische Natuurkunde benoemd tot hoogleraar met als aandachtsgebied de Fysisch Technische Informatieverwerking.