

Elektronica en integratie

Citation for published version (APA):

Tummers, L. J. (1967). *Elektronica en integratie*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1967

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

ELEKTRONICA
EN
INTEGRATIE

IR. L.J. TUMMERS

ELEKTRONICA EN INTEGRATIE

REDE

UITGESPROKEN BIJ HET AANVAARDEN VAN
HET AMBT VAN BUITENGEWOON HOGLERAAR
IN DE AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL

TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 26 MEI 1967

DOOR

IR. L.J. TUMMERS

*Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Secretaris van deze Hogeschool,
Mijne Heren Hoogleraren en Lectors,
Dames en Heren van de Staf dezer Hogeschool,
Dames en Heren Studenten
en voorts Gij allen, die door Uw aanwezigheid van Uw belangstelling
blijk geeft,*

Zeer geachte toehoorders,

De verandering in de woordenschat van een taal is een weerspiegeling van de ontwikkeling die het taalgebied doormaakt, en is derhalve een graadmeter voor de mate van verandering en vooruitgang van de maatschappij. Een taal wordt immers regelmatig verrijkt met woorden die nieuwe zaken en begrippen omschrijven, daarnaast verandert soms ook de betekenis van bestaande woorden of de frequentie waarmee zij worden gebruikt. In de meeste gevallen zal een woord of een uitdrukking een bepaalde ontwikkeling op de voet volgen. Soms zien wij echter ook het verschijnsel dat bepaalde woorden door allerlei oorzaken gebeurtenissen ten gevolge hebben, waardoor het met het woord aangeduide begrip pas goed actueel wordt. Zekere modeverschijnselen kunnen via deze weg tot stand komen.

Een soort geschiedschrijving zou derhalve mogelijk zijn door de in de loop van de tijd optredende veranderingen in het idioom te registreren. Een dergelijke studie zou echter geen verbanden kunnen leggen en onder andere het hierboven vermelde onderscheid tussen oorzaak en gevolg niet kunnen weergeven.

In zo'n woordengeschiedenisboek van de laatste twintig jaar zou het woord „integratie” zonder twijfel zijn opgenomen, als woord niet nieuw maar in gebruik en betekenis zeer sterk gegroeid. Wij allen kennen het begrip zoals het samenhangt met Europese integratie, rassenintegratie, integratie in bedrijven en in vele andere samenstellingen. In al deze voorbeelden heeft het een iets andere betekenis, maar het valt toch algemeen te omschrijven als het vergroten van de eenheid tussen een aantal voorheen min of meer onafhankelijk naast elkaar levende of functionerende groepen of systemen. Waarom nu, kan men zich afvragen, is dit begrip „integratie” in feite zo modern, waarom treft men dit begrip nu ineens in zoveel gebieden aan? Is dit verschijnsel logisch en zinvol of is het misschien een modeverschijnsel?

Het antwoord zou afhangen van het uitzichtspunt van waaruit men dit vraagstuk zou bekijken. Er is een complex van factoren in het spel, zowel van materiële als van psychologische aard. Van welk gezichtspunt men deze vraagstelling ook zou beschouwen, men zou daarbij altijd voor dit verschijnsel het grote belang ontdekken van de moderne communicatiemiddelen. Hierdoor worden over bestaande grenzen heen talrijke verbindingen gelegd, hetgeen resulteert in een vervlaking der grenzen en in het ontstaan van grotere eenheden. Voorts wordt men meer dan voorheen hierdoor geconfronteerd met bestaande verschillen, vergelijkingen worden als het ware opgedrongen, en als gevolg hiervan groeien meer uniforme systemen, van binnen of van buiten uit. Is dit nog enigszins als een niet altijd direct bedoeld gevolg van dit gebeuren te beschrijven, daarnaast is ook een doelbewuste werking aanwezig. Men beschikt nu namelijk over middelen om zo nodig grotere eenheden te laten functioneren, hetgeen om economische redenen soms gewenst is. De drijfveer om tot integratie te geraken is dan vaak het verkrijgen van een verbeterde concurrentiepositie, hetgeen tevens insluit, dat de integratie bij de concurrent - wij moeten dit woord dan in ruime zin interpreteren - reeds aanwezig is.

Het lijkt geen twijfel dat op zijn beurt de essentiële rol in deze ontwikkeling van de communicatiemiddelen gespeeld is en wordt door de elektronica. Radio en televisie zijn daarvan duidelijke voorbeelden, maar ook bijvoorbeeld het moderne verkeer, te land, in de lucht of op het water, kan slechts functioneren dank zij elektronische apparatuur.

Het slim gebruik maken van de eigenschappen van elektronen heeft derhalve bijgedragen en geleid tot de mogelijkheid en de noodzaak van integratie op velerlei terrein. Het is hierbij opmerkelijk dat door het beheersen van het zeer kleine - het elektron - het mogelijk is geworden zeer grote eenheden te creëren. Ook het omgekeerde is te stellen: willen wij met grotere eenheden gaan werken, grotere afstanden gaan overbruggen, grotere computers bouwen, dan zullen wij dit slechts kunnen bereiken door verder en verder het sub-microscopisch en microscopisch kleine te beheersen. Dit moge merkwaardig klinken, er is echter een zeer aannemelijke oorzaak voor aan te geven.

De hierboven geschetste groei in grootte op allerlei schaal en velerlei gebied gaat namelijk gepaard met de noodzaak grote hoeveelheden informatie in zeer korte tijden te verwerken. Bij het bereiken van deze

grote bewerkingsnelheden is het elektron onze grootste bondgenoot. Elektronische bouwelementen van velerlei soort zijn hiertoe ontwikkeld voor het verrichten van een veelheid van functies. Aanvankelijk speelde een belangrijk deel van de elektronendressuur zich af in vacuüm in de zogenaamde elektronenbuizen. Sinds de uitvinding van de transistor heeft de beheersing van het gedrag van elektronen in de vaste stof een grote vlucht genomen. Daar de snelheden van elektronen onder invloed van elektrische velden in vaste stoffen geringer zijn dan in het vacuüm heeft dit tot gevolg dat om de gewenste snelheden te bereiken de vastestofelementen kleiner moeten zijn dan de vacuümbuizen.

Deze kleine afmetingen heeft men weten te realiseren door van fysisch-chemische vervaardigingstechnieken gebruik te maken. De transistor, gemaakt in zogenaamde halfgeleidende materialen zoals silicium en germanium, heeft aldus geleid tot miniaturisatie van de bouwelementen en de ermee te maken schakelingen.

Een vruchtbare wisselwerking tussen de technologische mogelijkheden enerzijds en de elektrische-systeemeisen anderzijds heeft bijgedragen tot een aanzienlijke beheersing en verfijning van de halfgeleidertechnologie en tot een grote groei van de elektronische toepassingen.

Maar ook zijn uiteraard begrenzings aan het licht gekomen, die om een verdere ontplooiing te waarborgen moesten worden overwonnen.

Waarde toeboorders,

Sinds enkele jaren begint nu het begrip integratie ook ingang te vinden in de elektronica. De beperkingen van de op conventionele wijze gemaakte schakelingen, opgebouwd uit losse onderdelen, tracht men te ondervangen door gebruik te maken van zogenaamde geïntegreerde schakelingen. Zeer in het kort komt deze nieuwe techniek hierop neer dat men niet meer elektronische onderdelen apart maakt en die later tot een circuit verenigt, maar dat gehele schakelingen als eenheid worden gemaakt, als eenheid worden toegepast en ook eventueel als zodanig worden vervangen. De belangrijkste en meest belovende methode komt voort uit de transistortechnologie. Deze is sinds enkele jaren in een dusdanig stadium gekomen dat het mogelijk is geworden om in een klein stukje silicium, in een volume waarin men vroeger één transistor realiseerde, nu een schakeling te maken, die overeenkomt met enkele tientallen losse onderdelen. Deze zo-

genaamde monolieten, ofwel éénbloksschakelingen, leiden zo tot zeer kleine, complexe bouwstenen, waarmee een verdere stap is gezet op de weg van de miniaturisatie.

Aanvankelijk werd deze ontwikkeling gekarakteriseerd met het woord microminiaturisatie, nu omschrijft men het gehele terrein met de term micro-elektronica of ook geïntegreerde elektronica. De elektronische systemen kunnen hierdoor een orde ingewikkelder worden, zonder aan betrouwbaarheid in te boeten. Dit zal de toepassing van de elektronica nieuwe vleugels geven.

De redenen waarom deze integratie nodig is geworden, zijn van verschillende aard. Het bestaansrecht van deze nieuwe techniek verandert zelfs mede met haar mate van ontwikkeling. Uiteindelijk zal een nieuwe techniek uitgebreid toepassing vinden, wanneer men of daarmee zaken kan realiseren die op andere wijze niet te verwezenlijken waren of wanneer men bepaalde doelen ermee op economischer wijze kan bereiken. Beide aspecten zijn nu in het geding. De stimulans tot de opkomst van de micro-elektronica is oorspronkelijk uitgegaan van de ruimtevaart en van de militaire toepassingen, waarbij men zeer betrouwbare, zeer kleine en zo licht mogelijke apparatuur wil gebruiken. Het maken van geïntegreerde schakelingen brengt vanzelf met zich mee dat de afmetingen en het gewicht zeer gering worden. De betrouwbaarheid van de schakelingen wordt ook verbeterd, dat wil zeggen dat de kans op falen tijdens gebruik geringer wordt. Dit hangt samen met het feit dat wanneer men met geïntegreerde eenheden werkt, het aantal verbindingen dat tussen de onderdelen moet worden gemaakt, kleiner wordt. In de loop van het onderzoek om deze doelstellingen te realiseren is de techniek zo voortgeschreden dat men nu tevens ten aanzien van de economie van het geheel gunstige verwachtingen kan koesteren. Hierdoor wordt dan de weg opengelegd voor een zeer ruime toepassing.

Een uiterst belangrijk toepassingsgebied vormt de rekenmachine. De eigenschappen van de zo gemaakte schakelingen lenen zich zeer goed voor de elektronische techniek die in rekenmachines wordt toegepast, de zogenaamde digitale techniek. Aan de ene kant zullen derhalve nog machtigere computers binnen het bereik der mogelijkheden komen, aan de andere kant zullen kleinere computers in veel meer gebieden kunnen penetreren dan tot nu toe mogelijk werd geacht, tot in de persoonlijke sfeer toe. Maar ook in andere apparatuur zullen de

microschakelingen hun weg vinden; zogenaamde lineaire schakelingen zullen evenzeer op talloze plaatsen worden geïntegreerd. Het zal bovendien aantrekkelijk worden digitale technieken toe te passen in apparatuur waarin dit voorheen om economische redenen niet mogelijk was. Zo zullen de geïntegreerde schakelingen de introductie van de elektronica in bijvoorbeeld automobielen bevorderen en zullen zij te hulp worden geroepen om de problemen van de groeiende dichtheid en snelheid van de toekomstige verkeersmiddelen aan te pakken.

Een kenmerk van de voor ons liggende tijd zal zijn een afhankelijkheid van ingewikkelde systemen, zowel wat betreft het maatschappelijk leven als ook de persoonlijke omstandigheden. Het bewaken van deze systemen, of het nu gaat om het naar behoren functioneren van een elektronisch systeem of van een nog meer samengesteld systeem als bijvoorbeeld een vliegtuig, zal steeds meer noodzakelijk worden. De micro-circuits kunnen hierbij een belangrijke functie gaan vervullen. Door hun geringe afmetingen kan men nu op allerlei soms anderszins ontoegankelijke plaatsen metingen verrichten en zodoende een controle uitoefenen op het juiste gedrag van een systeem in al zijn onderdelen.

Terwijl dus enerzijds de groei van de elektronica zou kunnen bijdragen tot het schrikbeeld van een door technische middelen beheerste maatschappij, geeft zij ons anderzijds de mogelijkheid juist deze systemen extra te bewaken.

De introductie van microschakelingen zal voorts grote mogelijkheden bieden op medisch terrein. Dank zij hun geringe afmetingen zullen zij een steun kunnen geven bij het onderzoek; zij kunnen ook een bewakende en zelfs regelende functie vervullen in het menselijk lichaam. Veel studie en onderzoek in samenwerking met medici zal hiervoor vereist zijn; de mogelijke resultaten wettigen echter een grote inspanning.

Het belang van de opkomst van microschakelingen heb ik hier slechts summier en met enkele voorbeelden geschetst. Ik wil nu toch nog even verwijlen bij het onderdeel zelf, dat kennelijk zoveel nieuwe perspectieven opent en wel bij een monolietisch geïntegreerde schakeling. Men zou verwachten, nu hier sprake is van geïntegreerde schakelingen, dat in analogie met andere geïntegreerde eenheden de

grenzen tussen de in dit blokje aanwezige elementen zouden vervagen. Niets nu is minder waar. Een dergelijke schakeling bestaat uit een zeer klein kristalletje silicium met een oppervlak van ongeveer één vierkante millimeter en een dikte van één tiende millimeter. Hierin worden via een aantal behandelingen gebieden gevormd die als transistor, diode, weerstand etcetera kunnen fungeren. Een van de grootste problemen van de monolietisch geïntegreerde schakelingen ligt in de onderlinge isolatie van de belangrijke gebieden in het plaatje silicium. De verbindingen tussen die gebieden zijn aan zeer precieze voorschriften gebonden. Men scheidt die verbindingen door dunne metaalsporen aan te brengen, die als een soort snelwegen over het oppervlak van het plaatje silicium lopen. Het smokkelen van signalen over de inwendige grenzen der gebieden is een van de grootste zorgen van de ontwerpers van monolieten. Men tracht illegaal transport te voorkomen door in het kristalletje rondom de belangrijke gebieden barrières aan te brengen, diodemuren of kwartsmuren met een dikte van één duizendste millimeter. Zonder deze maatregelen zou het geheel niet kunnen functioneren; met deze muren is aan het signaalsmokkelen goeddeels een halt toegeroepen. Bij zeer snelle signaalveranderingen, dit wil zeggen bij zeer hoge frequenties, is deze isolatie echter nog niet perfect. Het zoeken naar steeds betere isolatie tussen de elementen in de geïntegreerde eenheid vormt een belangrijk stuk onderzoek in dit veld.

Wij zien hier dus voor ons een geïntegreerde eenheid waarbij men de erin voorkomende deelnemers intern zo goed mogelijk van elkaar isoleert. De eenheid lijkt naar buiten toe geïntegreerd en er is een grote lotsverbondenheid tussen de deelnemers, maar inwendig is het een samenstel van naast elkaar werkende deelgebieden.

Een waarlijk geïntegreerde schakeling zou zonder inwendig streng bewaakte grenzen kunnen werken. Daarmee zou een elektrische functie worden verricht op een wijze, die geen overeenkomst meer vertoont met de oude manier waarop het met discrete onderdelen geschiedt. In nog slechts enkele gevallen wordt deze fase van waarlijk integratie enigszins benaderd. Een verdere uitbouw in die richting, die zou leiden tot zogenaamde functionele schakelingen, zal moeten berusten op een diepergaande kennis van de verschijnselen in de vaste stof, een grondige kennis van wat de systemen verlangen en een verdere verfijning van de technologie.

Geachte toeboorders,

Een elektronisch apparaat of systeem, zij het een rekenmachine, een radio-ontvanger of anderszins, is het resultaat van studies en onderzoekingen op vele gebieden, waarbij een groot aantal disciplines is betrokken. De systemen als geheel en de ervoor benodigde schakelingen worden ontworpen door elektronici. Zij werken met bouw-elementen die de vrucht zijn van het werk van technologen en fysici. Deze maken daarbij gebruik van materialen die door chemici worden geleverd en van verschijnselen in de materialen, die door fysici zijn bestudeerd. Ook werktuigbouwkundigen blazen in bepaalde stadia hun partij mee, om de specifieke problemen van hulpapparaturen en van fabricage op te lossen.

Ieder is in dit proces werkzaam op zijn deelgebied en heeft veelal slechts direct contact met diegene, die op zijn buurgebied actief is. Een dergelijk systeem komt derhalve tot stand dank zij een samenwerking tussen vele specialisten op velerlei gebied. De koppeling op bepaalde plaatsen in de wordingsketen van het apparaat is zo los, dat men dit gehele proces niet onder één dak hoeft te vervullen. De makers van de componenten, zoals van transistoren, vormen een eenheid die ruimtelijk sterk gescheiden werkt van de apparatenbouwers. In vele gevallen behoren zij niet eens tot dezelfde onderneming.

In deze elektronische vijver valt nu plotseling de monoliet der geïntegreerde schakelingen die, hoewel slechts een nauwelijks zichtbaar kristalletje, toch grote golven opwerpt. Immers wat voorheen door een serie bewerkingen tot stand kwam, wordt nu als een geheel gemaakt.

De onderdelenfabrikant maakt aldus met zijn processen gehele schakelingen en de apparatenfabrikant ziet zo een deel van zijn ontwerpvrijheid verdwijnen.

Bovendien zal de onderdelenfabrikant misschien dezelfde schakelingen ook leveren aan de concurrent van de apparatenfabrikant. Deze komt daardoor in de verleiding te besluiten om zelf ook maar in de onderdelenfabricage te stappen, zodat hij zijn vrijheid behoudt. De onderdelenmaker ziet het gevaar, dat hij een aantal van zijn klanten verliest, die eerst zijn discrete onderdelen afnamen. Aan de andere kant ziet hij de mogelijkheid grotere delen van systemen te maken, en daarmee komt ook hij voor moeilijke beslissingen. Betekent dus de

komst der microschakelingen op technisch gebied een belangrijke ontwikkeling, ook ten aanzien van de algemene organisatie en structuur in de elektrotechnische industrie kunnen ingrijpende veranderingen het gevolg zijn.

In mijn verdere betoog wil ik nu echter speciaal aandacht schenken aan het samenspel der disciplines, die in het gehele traject waarin een systeem tot realisatie groeit, zijn betrokken. Wij zagen reeds dat volgens de klassieke methode een elektronisch systeem ontstaat via een in serie geschakelde dienstbaarheid. Elke sector in dit traject vervult een zekere taak, waarmee de opvolger in deze hiërarchie der dienstbaarheden verder kan werken. De taak is vervuld wanneer men een eenheid kan overdragen, zij het een bouwelement of een schakeling, die aan bepaalde uitwendig te meten specificaties voldoet. Hoe deze specificaties intern zijn verwezenlijkt is voor de gebruiker van het element of van de schakeling vaak minder relevant. Men werkt wel met wat men aanduidt als een „black box”, een zogenaamd zwart kastje, waarin men dit zwart dus figuurlijk moet opvatten en waarin het ongeveer dezelfde betekenis heeft als in zwarte kunst. Men ontvangt van zijn voorganger in de hiërarchie een „black box”, in de vorm bijvoorbeeld van een transistor of een schakeling. Het is alleen van belang hoe het tussen zijn aansluitklemmen reageert; hoe de reactie in feite tot stand komt hoeft men niet eens te weten.

Aan deze klassieke werkmethode, die ik hier misschien iets te zwart heb afgeschilderd - de kastjes zijn soms wel „grijs” - kleven uiteraard grote bezwaren. Er zijn namelijk te veel schakels betrokken in de totstandkoming van een elektronisch systeem. Elk traject vergt zijn eigen kunde en wordt bewerkt door specialisten op een vrij nauw gebied. De communicatie tussen deze specialisten is vaak gebrekkig en hierdoor wordt het verkrijgen van een optimaal eindresultaat belemmerd.

In deze situatie brengt het tijdperk van de geïntegreerde schakelingen een radicale verandering teweeg. Doordat gehele complexe schakelingen als eenheid worden gemaakt, moeten bij de concipiëring de overwegingen van wat vroeger op deelgebieden betrekking had nu simultaan gebeuren. Het begrip „zwart kastje” is op vele plaatsen niet te handhaven. Bij het concipiëren zijn nu verschillende disciplines ingeschakeld die gezamenlijk tot een ontwerp moeten komen. Zij

dienen derhalve meer begrip van elkaars werkgebieden te hebben en tenminste elkaars talen te verstaan. Hoe verder de mate van elektronische integratie voortschrijdt, des te meer omvattend zal deze gedachtenintegratie noodzakelijk zijn. Niet alleen bij het ontwerpen van deelschakelingen, doch ook bij de opzet van het systeem moet rekening worden gehouden met de technologische mogelijkheden en beperkingen.

Ook al verschilt namelijk de nieuwe schakeling, wat het principe van zijn werking betreft, niet van de oude, toch dwingt deze nieuwe technologie tot een geheel ander ontwerp. Ditzelfde geldt evenzeer voor de organisatie van het systeem, daar het bijvoorbeeld voordelig kan zijn om grenzen tussen bepaalde functies op andere plaatsen te leggen.

Noodgedwongen leidt deze ontwikkeling derhalve tot een verregaande samenwerking tussen fysici, chemici, elektrotechnici en ook werktuigbouwkundigen. Ieder zal uiteraard nog specialist blijven op zijn specifieke terrein, doch moet meer vertrouwd raken met de andere terreinen, meer dan tot nu toe nodig was.

Ook menselijke problemen zullen zich daarbij kunnen voordoen. Men moet nu leren samenwerken met anders gerichte figuren, men moet in zijn eigen gebied meer inspraak dulden van burens in het proces, en men moet de bijdragen van anderen volledig erkennen en waarderen. Zo zal de elektronicus de onderdelenmaker niet moeten zien als iemand die iets maakt waardoor zijn ingenieus bedachte schakeling niet of nauwelijks zal kunnen werken, en als iemand die slechts onbetrouwbaarheid aan zijn ontwerp toevoegt. De onderdelenmaker moet in de elektronicus niet een man zien die slechts soldeert, die zijn met veel moeite en zorg gemaakte produkten maltraiteert en die voor al zijn moeilijkheden de technoloog de oplossing laat zoeken. Er zullen zeker spanningen blijven bestaan, doch men moet niet komen te verkeren in de situatie van de bekende anekdote over de bokswedstrijd, die geen doorgang kon vinden, daar beide tegenstanders ongenoegen met elkaar hadden gekregen. Men zal in een vroegtijdig stadium het ontwerpen van een systeem als een gezamenlijke taak moeten zien en het gezamenlijk tot een goed eind zien te brengen.

Men kan de hierboven geschetste ontwikkeling van de geïntegreerde schakelingen beschouwen als een fase volgende op die van de transis-

toren. De introductie van geïntegreerde schakelingen in apparaturen begint langzamerhand op gang te komen, en ziet: er tekent zich reeds een volgende fase af aan de horizon, waardoor de hiervoor gegeven beschouwingen nog worden geaccentueerd. Dit is de komst van wat reeds bekend staat als „Large Scale Integration”, zoiets als de „integratie van integratie”. Hieronder verstaan wij dan het verder samenvoegen van de zeer kleine geïntegreerde schakelingen door opnieuw gebruik te maken van fysische bewerkingstechnieken.

Ik wil dit illustreren met een voorbeeld, dat beslist niet de enige of de beste methode in alle gevallen is, maar dat toch goed laat uitkomen in welke richting men denkt. Men gaat uit van een plakje silicium dat de grootte heeft van onze gulden en slechts een tiende van de dikte. Met de transistortechnieken kan men via een aantal behandelingen in dit plakje nu vele honderden schakelingen fabriceren, bijvoorbeeld poortschakelingen, die een algemene bouwsteen vormen voor rekenmachines. Deze poortschakeling is in zichzelf reeds een geïntegreerde schakeling die kan bestaan uit een aantal transistoren, diodes en weerstanden. Men meet nu op deze plak met een zeer fijn mechanisch-elektrisch apparaat de schakelingen door en voert het resultaat - welke schakelingen goed zijn en welke slecht - toe aan een rekenmachine. Deze ontwerpt met deze gegevens het verbindingspatroon dat nodig is om met de goede schakelingen in de plak nu de gewenste totale schakeling te maken en stuurt ook de machine die de daarvoor benodigde maskers maakt. Men verbindt vervolgens met behulp van deze maskers de goede schakelingen en verkrijgt zo op één plakje silicium met een oppervlakte van enkele vierkante centimeters een schakeling bestaande uit enkele honderden poortschakelingen. Een dergelijke werkwijze ligt reeds binnen het bereik der mogelijkheden; het zal nog enkele jaren ontwikkelingswerk vergen, doch dit zal reeds mogelijk zijn zonder verdere belangrijke uitvindingen. In dit verband spreekt men wel met enig optimisme over de „computer on the slice” ofwel in mijn vergelijking over de rekenmachine in een dunne gulden. Het op deze wijze samenvatten van deze verdere uitbouw van de micro-elektronica is zeker wel wat overdreven, maar ook enigszins eenzijdig. Ik moet hier nogmaals met nadruk betogen dat het belang van deze ontwikkeling niet alleen de extreme kleinheid van de schakelingen is, doch veeleer het feit dat ze als eenheden met fysisch-chemische technieken worden vervaardigd, waardoor meer geïntegreerde en betrouwbaardere systemen mogelijk zullen worden.

Hierdoor zal de elektronica nog dieper en in nog meer gebieden kunnen penetreren; maar tevens zal de integratie van de deelgebieden, die aan de totstandkoming van een systeem meewerken, nog meer tot gelding komen.

Bij deze ontwikkeling zal de „elektronische” ingenieur een centrale plaats innemen. De verwachting is dat tevens door deze ontwikkeling het aantal ingenieurs dat in de toekomst betrokken zal zijn bij het systeemonderzoek relatief zal groeien ten opzichte van het aantal dat actief is in de elektronica zelf en in het ontwerpen van de schakelingen. Dit vermoeden wordt ook door enquêtes bij de elektronische industrie bevestigd.

Over de gehele linie is dus een verschuiving waar te nemen; de nadruk komt meer te liggen op het geheel, dan op de het geheel vormende delen.

Geachte toehoorders,

Deze gehele ontwikkeling, die nog steeds stormachtig voortgaat en waarvan de gevolgen en grenzen nog niet te overzien zijn, heeft uiteraard ook consequenties ten aanzien van de opleiding en het onderzoek aan een Technische Hogeschool. Ik wil hiervan enkele aspecten aanroeren.

Het is natuurlijk ondenkbaar dat de Hogescholen nu ingenieurs zouden opleiden met grondige kennis op het gehele traject dat ik zoëven heb beschreven. Een brede-basiskennis op de relevante gebieden echter zal meer en meer een vereiste worden. Dit betekent voor het bediscussieerde terrein inzicht in de fysica van de vaste stof, in de fysische principes die ten grondslag liggen aan de bouwelementen van de vaste stof, in hun vervaardigingsmethoden en in de principes van elektronische schakelingen en systemen.

Een belangrijke zaak is voorts, en de micro-elektronica is hiervan slechts één voorbeeld, dat in de toekomst de technische ontwikkeling verder tot stand komt dank zij een nauwe samenwerking tussen vele disciplines. Dit samenspel verloopt niet zo maar op goede wijze, het moet worden geleerd. Een absolute noodzaak is hierbij het enigszins kennen en waarderen van elkaars terrein, maar ook dat men zijn angst aflegt voor een activiteit die iets buiten het eigen gebied ligt. Te vaak

hoort men nog afwerende en verontschuldigende opmerkingen maken wanneer iemand geconfronteerd wordt met een probleem dat hij tot een andere discipline acht te behoren. Men moet zich realiseren dat deze houding belemmerend werkt en men moet er voor waken dat de kiemen hiervoor niet reeds tijdens de opleiding worden gelegd. De opleiding aan de Technische Hogeschool kan er in ieder geval zeer toe bijdragen hierin verbetering te brengen. Dit alles brengt dan logischerwijze met zich mede dat ook bepaalde grenzen of muren in de opleiding moeten verdwijnen. Er moet naar worden gestreefd om naast een brede-basisopleiding verder in de studie bijvoorbeeld werk in een omgeving en vorm te doen plaatsvinden, waarin de samenwerking met andere disciplines reeds tot zijn recht kan komen. Op deze wijze kan worden bijgedragen tot de vorming van wat door Breedveld als de „witte” ingenieur is gekarakteriseerd.

Ten aanzien van onderzoek op het gebied der micro-elektronica is het een omstreden vraag in hoeverre de nieuwe technieken binnen de muren van een Technische Hogeschool aanwezig moeten zijn. Om een zinvolle bijdrage te kunnen leveren is de aanwezigheid van een uitgebreide en gespecialiseerde technologie noodzakelijk. De ontwikkeling van deze multidisciplinaire technologie is het werkteerrein van een groot aantal industriële laboratoria. Het zou zeer moeilijk, zo niet onmogelijk zijn om op dit gebied maar enigszins bij te blijven. Een zekere beperking is dus tenminste op zijn plaats. Deze beperking is op verschillende manieren mogelijk. Men kan zich bepalen tot het opzetten van een technologie, die wel niet de meest moderne is, maar die toch representatief is voor het gehele veld, ofwel men maakt een keuze uit de veelheid van elementen die kunnen worden gemaakt en tracht dus zeer moderne technologie te bedrijven met een beperkt doel. In beide gevallen zal dan toch nog met de huidige mogelijkheden van opzet het zwaartepunt van dit werk meer in de sfeer van het onderricht dan van het onderzoek komen te liggen. Toch kan het zo reeds een zeer nuttige functie vervullen door de studenten enigszins met deze technologie vertrouwd te maken. Het geeft echter geen oplossing voor die groepen die in hun systeem- en schakelingsonderzoek geïntegreerde schakelingen willen betrekken. Indien het mogelijk zal zijn hiervoor contact met de industrie te leggen zal er een constructie tot stand komen waarvan beide partners zullen kunnen profiteren. Het onderzoek aan een Technische Hogeschool zou zich dan kunnen richten op het ontwerpen van gespecialiseerde schake-

lingen, waarbij een zekere technologische inbreng door de industrie zou kunnen worden geleverd.

Een zeer groot werkgebied is het algemeen en speciaal systeemonderzoek. Talloze systemen zullen van de geïntegreerde elektronica gebruik gaan maken of worden pas goed mogelijk dank zij de micro-elektronica. Het systeemonderzoek staat in vele gevallen nog in de kinderschoenen. Algemene systeemtheorie, maar ook het bepalen van de eisen waaraan concrete systemen moeten voldoen en de studie van de interne organisatie van zo'n systeem zijn alle gebieden waarop aan een Technische Hogeschool bijdragen kunnen worden geleverd.

Waarde toevoorders,

Het gehele veld overziend kan men zeker stellen, dat bij de integratie, die zich momenteel op vele gebieden voordoet, de technische ontwikkeling een grote rol speelt.

De beschouwing over de micro-elektronica toont aan, dat integratie geen geïsoleerd verschijnsel is, doch dat geldt: van integratie komt integratie. Wijken of verdwijnen de grenzen in een bepaalde structuur, dan herhaalt zich dit proces ook in andere aanverwante structuren. Zo zullen, om de nieuwe ontwikkeling op te kunnen vangen of, liever nog, te helpen sturen, zowel in de industrie als aan een Technische Hogeschool bepaalde grenzen worden aangetast en zal ook de noodzaak ontstaan om bepaalde barrières tussen industrie en Hogeschool op dit gebied te verlagen.

Integratie op een schaal zoals wij die nu beleven, is dan ook niet een modeverschijnsel, doch een logische consequentie van de technische vooruitgang. Of de ontwikkeling zinvol is, dit wil zeggen een waarlijke bijdrage voor de samenleving kan leveren, zal ervan afhangen hoe wij de nieuwe mogelijkheden gaan toepassen.

Het is niet ongebruikelijk, wanneer men binnen een eenheid de grenzen afbreekt, dat men het vrijgekomen materiaal gebruikt om de muren om de eenheid zelf te versterken. Een dergelijke handelwijze op technisch terrein zou de mogelijke voordelen geheel teniet kunnen doen. Ik heb U voorheen gesproken over het werken met zogenaamde zwarte, ondoorzichtige kastjes bij het tot stand komen van een systeem. Deze vergelijking is in vele gevallen zeker geldig wanneer het

systeem aan de maatschappij wordt overgedragen. Bij velen heerst de opvatting dat technische produkten soms op de maatschappij afkomen, zoals wij op de weerkaart depressies onverbiddelijk op Europa zien afkoersen. Het resultaat is dat „het regent” of „het waait” of in het technische klimaat bijvoorbeeld dat „het computert”. Een beheersing van het technische weer, dat wil zeggen het optimaal gebruik maken van de technische middelen ten nutte van de samenleving, zal een zeer moeilijke zaak zijn. Ik meen echter dat de ontwikkeling op elektronisch gebied die ik U geschetst heb, ons ook grote kansen in dit opzicht gaat bieden. Er zal immers in dit terrein geen plaats zijn voor de nauwe superspecialist, er groeit een zekere despecialisatie. De systemen van de toekomst zullen gerealiseerd moeten worden door mensen die één taal spreken. Hierdoor zal het gesprek met diegenen die het systeem gebruiken, beter tot stand kunnen komen. De wensen en noden van de systeemgebruikers - en dit is de richting waarnaar wij moeten streven - zullen aldus beter kunnen worden vervuld.

Deze mogelijkheid van de micro-elektronica is misschien wel de belangrijkste en maakt haar dan ook zinvol. Men kan van de geïntegreerde elektronica dan met recht en letterlijk stellen: kleine oorzaken, grote gevolgen. Het in goede banen leiden van deze gevolgen zal grote inspanningen vereisen. Een van de ijvervaarders voor de Europese integratie, Jean Monnet, werd tijdens moeizame beraadslagingen over de verwezenlijking van de Europese samenwerking gevraagd naar zijn mening over de kansen op succes. Zijn antwoord was: „Messieurs, nous sommes condamnés à réussir”. Deze woorden gelden eigenlijk voor ons allen, doch bedenken wij dat het zeer onbevredigend zou zijn te mogen falen.

Aan het einde van mijn voordracht gekomen betuig ik aan *Haar Majesteit de Koningin* mijn eerbiedige dank voor Haar besluit mij te benoemen tot buitengewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren,

Voor het vertrouwen, dat U in mij hebt gesteld, door mij voor te dragen voor de leerstoel in de transistortechniek, ben ik U zeer erkentelijk. Het grote belang van de op deze techniek gebaseerde verdere ontwikkeling is voor mij een extra stimulans om de mij toebedachte taak zo goed mogelijk te vervullen.

Mijne Heren leden van de Senaat,

Ik beschouw het als een grote eer om in Uw midden te worden opgenomen en om te mogen meewerken aan een verdere uitbouw van wat U reeds gezamenlijk hier tot stand hebt gebracht.

Heren Hoogleraren, Dames en Heren van de staven van de afdeling der Elektrotechniek,

Voor de wijze waarop U mij tegemoet bent getreden en alom gesteund hebt bij mijn eerste werkzaamheden wil ik U hier van harte danken.

Het is mij reeds gebleken dat Uw afdeling een geïntegreerde eenheid vormt, waarin het een genoegen is te mogen werken.

Mijne Heren Leden van de Raad van Bestuur van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken,

Voor Uw toestemming om het ambt van buitengewoon hoogleraar te bekleden naast mijn bestaande werkzaamheden ben ik U zeer dankbaar.

Hooggeleerde Druijvesteyn,

Dat ik onder Uw leiding heb mogen studeren, beschouw ik als een groot voorrecht. Uw persoonlijkheid en Uw methode om Uw inzicht in de fysica aan anderen over te dragen dienen mij tot voorbeeld.

Hooggeleerde Stieltjes,

Mijn eerste wandelingen in de transistortuin heb ik onder Uw leiding mogen maken. Uw kennis van zaken, zowel wat de bloemen zelf betreft, als de grond waarop zij goed gedijen en de manier waarop zij in boeketten kunnen worden geschikt, maakten deze tijd zeer aangenaam en leerzaam. Veel van de kennis die ik daarbij heb opgedaan kan ik nu trachten aan anderen over te dragen.

Waarde, zeer geleerde Haaijman,

Vele jaren heb ik onder Uw dirigentschap de halfgeleidertechnologie mogen bespelen. Dank zij Uw inzicht en ervaring in het vakgebied en Uw zorg voor het spelen in goede harmonie met de andere leden van het orkest, zijn deze jaren voor mijn vorming van grote betekenis geweest.

Waarde Collega's en Medewerkers van het Natuurkundig Laboratorium van Philips,

De vele mogelijkheden voor het verrichten van onderzoek en de geest

van samenwerking en hulpvaardigheid maken het werken op het Nat. Lab. tot een bijzondere ervaring. Voor alle in de loop der jaren ondervonden steun en vriendschap wil ik U van harte danken. Ik hoop te kunnen medewerken aan het handhaven van de goede tradities.

*Waarde Heren Directie en Medewerkers van de N.V. Philips
Halfgeleiderfabrieken te Nijmegen,*

Ook met U binden mij vele zakelijke en persoonlijke banden. Onze contacten waren voor mij altijd leerzaam en stimulerend. Het is mij bekend, dat U ook altijd klaar hebt gestaan, wanneer er van de zijde van de Technische Hogeschool een beroep op U werd gedaan. Ik hoop op een verdere vruchtbare samenwerking op twee fronten.

Dames en Heren Studenten,

Met een zekere onrust hebt U misschien aan de ene kant mijn pleidooi voor bredere basiskennis aangehoord en daarnaast U dan afgevraagd waarom er weer een specialistisch vak aan het programma is toegevoegd. Ik hoop echter dat ik U enigszins heb kunnen aantonen dat de halfgeleidertechniek in zeer veel gebieden een belangrijke rol zal gaan vervullen en dat het dus een - bij wijze van spreken - algemeen specialistisch vak mag worden genoemd, waarin de samenhang der technieken goed tot uiting komt.

Het thema van mijn voordracht, „integratie”, vraagt er eigenlijk om dat men het woordenboek hanteert, om na te gaan waar dit woord vandaan komt. Velen beginnen een oratie op deze wijze, ik wil er mee eindigen.

Het woord integratie hangt samen met het Latijnse woord „integer”, hetgeen oorspronkelijk heeft betekend „niet aangeraakt” en vandaar gaaf, in zijn geheel.

Ik wens U toe dat U erin zult slagen een integer ingenieur te worden, dus een ingenieur uit één stuk, een ingenieur die zich een goede technische vaardigheid heeft verworven, maar ook de waarde en het doel ervan heeft leren onderkennen.

Ik heb gezegd.