

Integratie van informatica-onderdelen in het natuurkunde onderwijs op bovenbouw havo en vwo

C. de Beurs, A.L. Ellermeijer en R. Heijeler
Didaktiek Natuurkunde
Universiteit van Amsterdam

Summary

In this article we describe a study on the design of a course in which aspects of information technology are integrated in the physics curriculum of the upper level in secondary schools (havo/vwo) in the Netherlands. The main purpose of our study was to obtain a consensus of opinion between people involved in physics education about possible objectives, contents and contexts. As a result of this study we developed blue-prints for a course 'Process Automation' (age 16) and a course 'Computer Applications in Physics' (age 17/18). We will present both the outline and the results of our study.

1. Inleiding

Techniek speelt een belangrijke rol in de maatschappij; met name geldt dat voor de informatietechniek. In onze complexe samenleving raken mensen en hun organisaties meer en meer afhankelijk van de opslag, de verwerking en het transport van grote hoeveelheden gegevens. Niet alleen in industrie en wetenschap, maar ook in huishoudens en de directe woonomgeving van elke staatsburger dringen de produkten van de informatietechnologie steeds verder op. De opvatting dat ook in het algemeen vormend onderwijs aan deze ontwikkelingen aandacht moet worden besteed is inmiddels gemeengoed geworden.

De afdeling Didaktiek Natuurkunde van de Universiteit van Amsterdam is sinds 1982 actief op het terrein van geautomatiseerd meten en besturen. Ervaring met het computergebruik in het natuurkundig practicum riep na enige tijd de vraag op of wellicht ook aandacht zou moeten worden besteed aan basisprincipes van geautomatiseerd meten en regelen in het bovenbouw natuurkundeprogramma. Dit leidde er vervolgens toe dat in 1984

een onderzoek werd gestart naar mogelijke leerdoelen op het gebied van micro-elektronica en computerondersteund meten.

Onder invloed van het informatica-stimuleringsbeleid van de overheid zou later de aanvankelijke vraagstelling worden verbreed tot mogelijke inpassing van informatica-aspecten in het natuurkunde-onderwijs.

De aanzet hiertoe werd gegeven in de nota 'Aanvullend Beleidskader' (PSOI-reeks nr. 12, 1986), waarin de oorspronkelijke lijn van de introductie van informatica als een apart eindexamenvak in het onderwijs werd verlaten. Men kwam in de genoemde nota (blz. 21) onder andere tot de volgende conclusie: 'Elementen van informatietechnologie zullen in elk geval moeten worden opgenomen in de eindexamenprogramma's voor de vakken wiskunde A, natuurkunde en "bedrijfseconomie", terwijl verder dit aspect de aandacht heeft in de ontwikkeling van het experimentele eindexamenvak maatschappijleer'.

In dit kader en op basis van het genoemde onderzoek wordt sinds maart 1987 gewerkt aan de ontwikkeling van voorbeeldlesmateriaal, eerst binnen het ITN-2 project (project Informatietechnologie Toegepast in het Natuurkunde-onderwijs) en momenteel binnen PRINT-kaders. Deze ontwikkeling kwam in een stroomversnelling door een verzoek van de staatssecretaris (april 1987) aan de WEN om een onderdeel 'Fysische Informatica' op te nemen in het nieuwe eindexamenprogramma voor havo en vwo.

In dit artikel bespreken we de opzet en de uitkomsten van het doelstellingenonderzoek dat ook ten grondslag lag aan de uiteindelijke leerstoflijst die door de Werkgroep Examenprogramma's Natuurkunde (de WEN) is voorgesteld.

Het hierna te bespreken onderzoek werd begin 1987 afgesloten. De uitkomsten van een evaluatie-onderzoek dat gericht was op de ervaringen met een eerste versie voorbeeldlesmateriaal voor klas 4 havo en klas 4 vwo zullen later worden gepubliceerd.

2. De onderzoeksoپzet

De centrale onderzoeksvraag was: welke relevante elementen van de moderne informatietechnologie (IT) dienen te worden geïntegreerd in het Natuurkundeprogramma voor de bovenbouw havo/-vwo.

Uiteraard is deze vraag niet op basis van een louter inhoudelijke analyse van het leerstofgebied te beantwoorden. Uitwerking

van de vraagstelling vooronderstelt op een gegeven moment een keuze en de legitimering van inhouden op basis van maatschappelijke relevantie en het belang van het onderwerp vanuit de natuurkunde als vakdiscipline. Hoofddoel was daarom te komen tot een consensus onder deskundigen omtrent de inhoud van een deel-curriculum waarin relevante elementen van IT aan de orde komen. Oorspronkelijk werd daarbij gedacht aan een lessenserie met een omvang van ongeveer 15 lessen.

Een praktisch probleem bij de validering van gemaakte keuzen was dat weinig deskundigen te vinden zijn met zowel kennis ervaring op het gebied van de experimentele fysica en de toegepaste informatica als ervaring met het onderwijs aan de doelgroep (havo/vwo-leerlingen). Met het oog hierop hebben we gekozen voor een gefaseerde aanpak, waarbij de consultatie van inhoudsdeskundigen vóóraf diende te gaan aan de consultatie van de onderwijsdeskundigen. Hierdoor was het mogelijk de laatste groep te confronteren met vrij concreet uitgewerkte alternieven, met daarbij de inhoudelijke analyse van het leerstofgebied en een verantwoording van de gemaakte keuzen. Bij de planning van het onderzoek is gekozen voor een opzet in vier fasen. We bespreken hierna eerst kort de gevolgde onderzoeksoptelling om vervolgens verslag te doen van de belangrijkste ontwikkelingen per fase.

I. Oriëntatie op mogelijke inhouden en leerdoelen.

De oriëntatiefase geeft een eerste afbakening van het leerstofgebied door de beantwoording van vragen als:

- Wat verstaat we onder informatietechnologie? Een begripsafbakening.
- Wat zijn de mogelijke raakvlakken tussen IT en Natuurkunde?
- Op welke wijzen worden op dit moment aspecten van IT in het natuurkundecurriculum vormgegeven?

Antwoord op deze vragen wordt gevonden door: het bestuderen van literatuur en het verzamelen van relevant lesmateriaal uit het nederlandse natuurkunde-onderwijs en buitenlands lesmateriaal.

II. Inhoudelijke analyse van het leerstofgebied.

Na een eerste afbakening tijdens de oriëntatiefase is een nadere ordening en analyse nodig, om een samenhangend beeld te verkrijgen van de mogelijke inhouden van het nieuwe leerstofge-

bied. Een keuze van gewenste leerinhouden kan vervolgens plaatsvinden op grond van veronderstelde maatschappelijke relevantie en relevantie voor het vak natuurkunde. Validering van de gemaakte keuzen is mogelijk door consultatie van inhoudsdeskundigen. Het gaat hierbij vooral om een toetsing van de volledigheid en de relevantie van de analyse, ook met het oog op de te verwachten ontwikkelingen in de komende 10 á 20 jaar. Dit leidt tot de volgende deelfasering.

1. Het maken van een inhoudelijke analyse van het leerstofgebied.
2. Een eerste afbakening van het leerstofgebied.
3. Validering van het ontwerp en de voorlopige keuzen door automatiseringsdeskundigen. Zonodig bijstelling van ontwerp en keuzen.

III. Consultatie van onderwijsdeskundigen.

Waar in de fasen I en II de nadruk ligt op het verzamelen en ordenen van inhouden, dienen in deze fase definitieve keuzen gemaakt te worden. Het gaat hierbij ondermeer om de vaststelling van globale leerdoelen en de keuze van geschikte contexten. Om een verantwoorde afweging door onderwijsdeskundigen mogelijk te maken wordt een discussiestuk opgesteld waarin alternatieve curriculumvoorstellen zijn uitgewerkt en keuzemogelijkheden gemotiveerd worden. Consultatie van onderwijsdeskundigen dient tenslotte gegevens op te leveren ten behoeve van het definitieve curriculumontwerp. Dit leidt tot de volgende deelfasering.

1. Formulering van globale doelstellingen en een keuze van contexten.
2. Uitwerking van enkele curriculumvoorstellen op basis van gemaakte keuzen.
3. Het voorleggen van voorstellen en keuzen aan een brede groep van personen uit het (natuurkunde)onderwijsveld: leraren natuurkunde havo/vwo, vakdidactici, leden van natuurkunde commissies en docenten van vervolgopleidingen.

IV. Ontwerp en legitimering van een blauwdruk.

Op basis van de gegevens uit de voorgaande fasen wordt tenslotte een definitieve blauwdruk voor een lessenserie ontworpen. De legitimering moet verkregen worden door dit eindproduct voor te leggen aan de in fase III geraadpleegde onderwijsdes-

kundigen en - in verband met de informatica-aspecten - aan informaticadeskundigen uit het onderwijsveld. Zonodig wordt de blauwdruk aan het eind van deze fase nog bijgesteld.

3. De ontwikkelingen per fase

Fase I: Oriëntatie op mogelijke inhouden en leerdoelen

In deze fase hebben we getracht begrippen te verhelderen en een beeld te krijgen van de raakvlakken van de informatietechnologie met de natuurkunde. Ook is gekeken naar relevant lesmateriaal in Nederland en in het buitenland. We geven een samenvatting van onze bevindingen.

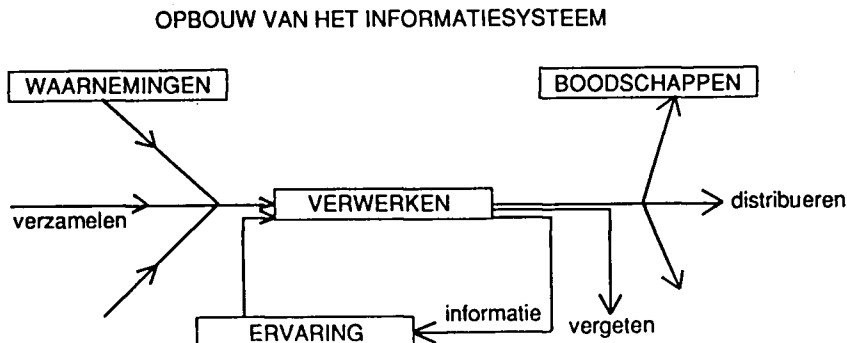
a. Informatica - Informatietechnologie

De volgende definitie van *Informatica* wordt gegeven door het NNI (Nederlands Normalisatie Instituut): 'Het vakgebied dat zowel het verschijnsel informatie bestudeert in relatie tot informatiesystemen als het verwerken, overdragen en gebruiken van informatie; in hoofdzaak, maar niet noodzakelijkerwijze, met computers en telecommunicatiesystemen'.

Een belangrijk aandachtsgebied voor de informatica is dus de *verwerking*, de *overdracht* en het *gebruik* van informatie in informatiesystemen. Onder informatiesysteem wordt veelal een (abstracte) eenheid van gegevensverwerking verstaan, waarvan de functies kunnen worden weergegeven met het schema van figuur 1 (Winkler Prins, 1977). Volgens de beschrijving in Winkler Prins bestaat 'het informatiesysteem uit een verzameling min of meer permanente gegevens (ervaring) plus de functies die waarnemingen kunnen omzetten in boodschappen en informatie'.

Gegevensverwerking kan, maar hoeft niet met behulp van computers te geschieden. De uitvoer van een informatiesysteem kan boodschappen (d.m.v. signalen) bevatten voor technische objecten (bijv. bij procesbesturing), maar ook informatie bestemd voor de mens (bijv. bij meetsystemen). Hoewel het begrip informatiesysteem naar een groot aantal toepassingsvelden (bijv. ook documentatie-informatiesystemen) verwijst, zijn voor onze vraagstelling vooral informatiesystemen in technische en natuurwetenschappelijke toepassingen van belang. Als dragers van dit soort informatiesystemen kunnen dan een breed scala van automatische meet- en regelsystemen genoemd worden. Indien we technische hulpmiddelen en technieken aanduiden die gebruikt worden bij informatiesystemen komen we op het terrein van de informatie

Figuur 1: Opbouw van het informatiesysteem



technologie. Onder (nieuwe) *informatietechnologie* (IT) zullen we hierna, aansluitend bij de NNI-definitie voor informatica, verstaan (Plomp, 1985): "Het deelgebied van de toegepaste informatica dat zich bezig houdt met de kennis over (het toepassen van) methoden, technieken en technische hulpmiddelen voor de verwerking, de overdracht en het gebruik van informatie".

Het gaat hierbij in feite om alles wat samenhangt met methoden en middelen die zijn ontstaan door ontwikkelingen en toepassingen uit verschillende vakgebieden (o.a. micro-elektronica, optica, cybernetica, informatica en dergelijke). Bij het zoeken naar relevante elementen van IT die voor integratie in aanmerking komen, lijken vooral de volgende twee toepassingsvelden van belang: automatisering en communicatietechniek. Vanuit informatica-invalshoek zal de aandacht vooral gericht zijn op methoden en technieken bij het verwerven, vastleggen, verwerken en verstrekken/overdragen van gegevens. Automatisering is het overdragen van taken van de mens (waarnemen, gegevensverwerking en handelen) aan technische objecten en berust op mechanisatie en automatische gegevensverwerking. Communicatie betekent volgens van Dale (uitgave 1984): (gelegenheid tot) uitwisseling van gedachten. Via communicatiesystemen wordt de overdracht van gegevens verzorgd.

b. Raakvlakken tussen IT en natuurkunde

De vraag naar de raakvlakken tussen natuurkunde en IT is in principe op te splitsen in twee deelvragen.

1. Welke deelgebieden van de natuurkunde hebben de ontwikkelingen op het gebied van informatietechnologie in belangrijke mate beïnvloed?
2. Hoe hebben informatie-technologische ontwikkelingen het natuurwetenschappelijk onderzoek beïnvloed?

De invloed van de natuurkunde op de informatietechnologie wordt met name gekenmerkt door de vooruitgang op het gebied van de halfgeleidertechnologie, wat ondermeer geresulteerd heeft in de centrale betekenis van de micro-elektronica voor de automatisering en voor de ontwikkeling van communicatiesystemen. We denken hierbij vooral aan de opkomst van de transistor, IC's, maar bijvoorbeeld ook aan de toepassing van de halfgeleiderlaser in de glasvezeltechniek. Bij toepassingen van IT neemt de *elektronica* op dit moment een centrale plaats in vanwege het feit dat gegevensverwerking in hoofdzaak plaats vindt door middel van elektronische componenten. Hiermee samenhangend fungeren elektrische signalen tot nog toe als voornaamste informatie-dragers in automatische meet- en regelsystemen en in communicatiesystemen. In de toekomst zal wellicht een verschuiving plaats vinden in de richting van optische technieken. We concluderen dat de toepassing van elektronica (meer dan optica) in automatische systemen de belangrijkste bijdrage vormt van de natuurkunde aan de ontwikkelingen op het terrein van de informatietechnologie.

De beschikbaarheid van gegevensverwerkende apparatuur en bijbehorende software-instrumenten heeft de praktijk van het natuurwetenschappelijk onderzoek beslissend veranderd. Door gebruikmaking van hardware- en software-instrumenten - als dragers van informatiesystemen - bij natuurwetenschappelijk onderzoek zijn experimenten mogelijk die voorheen ondoenlijk waren (bijv. het deeltjesonderzoek in CERN), maar dat niet alleen. Er komen steeds betere mogelijkheden ter beschikking voor numeriek experimenteren met modellen, voor toetsing van modeluitkomsten aan experimentele gegevens en voor herleiding van informatie in voor de onderzoeker bruikbare vorm. Deze hulpmiddelen zorgen ervoor dat men bij wetenschappelijk onderzoek in allerlei opzichten trefzekerder, sneller en gemakkelijker te werk kan gaan (Rademaker, 1982).

In het rapport 'Natuurkunde in Nederland, overzicht en vooruitzicht' van de Verkenning Commissie Natuurkundig Onderzoek (Volger, 1984) wordt natuurkundige informatica, naast de fysica van instrumenten en theoretische natuurkunde, één van de drie dwarsverbindingen over de verschillende subdisciplines in de natuurkunde genoemd. Volgens de commissie is natuurkundige informatica een essentieel nieuwe tak in de natuurkunde, welke sterk moet worden gestimuleerd.

Samenvattend onderscheiden we twee soorten toepassingen van computers bij natuurwetenschappelijk onderzoek.

1. De *on-line* (aan het experiment gekoppelde) toepassing van de computer bij fysische experimenten. Een belangrijk deelgebied van de *on-line* toepassingen is de zogenaamde real-time processing, waarbij tijdens het meten de meetgegevens al voor een deel verwerkt worden.
2. De *off-line* (niet gekoppelde) toepassing van de computer bij het verwerken van gegevens en het werken met modellen (Hamann, 1983). Deze laatste activiteiten worden wel aangeduid met de term computational physics.

Na deze analyse van de raakvlakken geven we een korte beschrijving van relevante ontwikkelingen in binnen- en buitenland, waar gepoogd is elementen van IT te integreren in het natuurkunde-onderwijs. Naast literatuurstudie zijn tekstboeken voor leerlingen bestudeerd om na te gaan welke aspecten van IT daarin aan de orde komen.

c. Relevant lesmateriaal uit binnen- en buitenland

In de meeste Nederlandse natuurkundemethoden (havo/vwo) was (1984) nog niets opgenomen uit bovengenoemd gebied. Een uitzondering vormden de twee experimentele PLON-thema's "Elektronica" voor 5 havo en "Automatisering" voor 4 en 5 vwo. Het Plon-thema Elektronica bestrijkt een gebied van toepassingen van elektronische schakelingen bij communicatie en automatisering. Het bleek (de Klerk, 1984) dat leerlingen een grote interesse vertonen voor elektronica-onderwerpen en in ieder geval bij het havo een voorkeur vertonen voor 'proeven doen' en 'schakelingen' bouwen. In het vwo werd deze voorkeur alleen bij jongens geconstateerd. In het vwo-thema Automatisering staat ook de elektronica centraal, maar hier komen aspecten van gegevensverwerving en verwerking in meet- en regelsystemen nadrukkelijker aan de orde dan bij het havo-thema. Opvallend is

dat het thema nauwelijks uitgewerkte voorbeelden bevat van computergebruik bij automatische systemen (Hogenbirk, 1987).

Voorzover in het buitenland pogingen zijn ondernomen elementen van IT te integreren in de natuurkunde was de aandacht vooral gericht op elektronica. Uiteraard werden in verschillende landen computers plaatselijk ingezet bij het natuurkundepracticum, maar het ging dan veelal om geïsoleerde experimenten waarbij vooral de fysica en niet zozeer de methode van informatieverwerking en -verwerking centraal stond. In verschillende Duitse deelstaten werden elektronische schakelingen (opamp, transistor) bij natuurkunde behandeld, echter meestal geheel los van contexten als automatisering of communicatie. In het curriculum voor natuurkunde (Bürger, 1984) van het 'Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften' (IPN) werd voorgesteld het onderwerp analoge en digitale technieken voor slechts *een deel* van de leerlingen (leerjaar 9/10) te reserveren (hobby, beroepsvoorbereiding) en voor *alle* leerlingen de aandacht te richten op de maatschappelijke gevolgen van de technologische ontwikkeling.

De belangrijkste ontwikkelingen met een duidelijk 'IT-oogmerk' speelden zich in Engeland af. Daar maakte elektronica al langere tijd deel uit van het natuurkundeprogramma binnen de verschillende 'examination boards'. De vraag of elektronica bij natuurkunde, dan wel bij het vak techniek (CDT - Craft, Design and Technology) thuishoort, is hier lange tijd (sinds 1980) onderwerp van discussie geweest (Wester, 1986; Bevis, e.a., 1985). Een neveneffect van deze discussie was het ontstaan van een stroming die voor een systeembenadering (eerst het complete systeem, dan de samenstellende onderdelen) pleitte bij de behandeling van elektronica (Geddes, 1984). Een dergelijke benadering zou beter passen bij korte inleidende cursussen, motiverender voor leerlingen zijn en een uitstekend startpunt bieden voor verdere verdieping. De belangrijkste impuls voor leerplanontwikkeling op het gebied van micro-elektronica en informatietechnologie kwam tenslotte van het MEP-project (het Micro-electronics Education Programme, een stimuleringsproject). De hoofddoelstelling van dit project was: "to help educators become better able to prepare children for life in a society in which devices and systems based on microelectronics are becoming commonplace and pervasive" (Bevis & Page, 1986a.). Uit dit project kwamen de onderwijspakketten genaamd "Micro-elec-

tronics For All (MFA)" en het vervolg hierop "Control Pathways" voort.

Het vernieuwende van deze lessenseries is de keuze voor een duidelijke context (elektronische informatieverwerking) en de systeembenadering. De aandacht is minder gericht op elektronische schakeltechniek en meer op het probleemgericht opbouwen van systemen uit deelsystemen met een bekende functie. Het MFA-pakket beperkt zich tot de digitale techniek; met behulp van specifiek practicummateriaal in de vorm van modules met elektronische componenten worden simpele informatieverwerkende systemen gebouwd. Het MFA-materiaal is bedoeld voor leerlingen van 11-13 jaar, terwijl Control Pathways mikt op de leeftijdsgroep van 13-18 jaar. Control Pathways richt zich meer op algemene concepten van sturen en regelen (Bevis & Page, 1986b.).

d. Conclusies van de eerste fase

Bij de analyse van raakvlakken en ook bij het (beperkte) onderzoek naar relevante ontwikkelingen in het onderwijs in binnen- en buitenland komt de elektronica naar voren als belangrijkste aandachtsgebied voor integratie van natuurkunde en IT. Zowel gezien vanuit de betekenis voor informatie-technologie zelf, als vanuit het belang van informatietechniek bij natuurkundig onderzoek (instrumentele elektronica) is expliciete aandacht voor elektronica te motiveren. Bij automatische meet-, stuur- en regelsystemen en ook bij veel communicatiesystemen zijn elektrische signalen de belangrijkste dragers van gegevens en worden elektronische componenten gebruikt voor signaalaanpassing (filteren, versterken, etc.) en gegevensverwerking (digitale technieken). Aandacht voor de elektronische bouwstenen zal leerlingen helpen de opbouw en de werking van IT-toepassingen te begrijpen en meer in het algemeen inzicht te verwerven in belangrijke informaticaconcepten die aan informatiesystemen ten grondslag liggen. Daarnaast is het vanuit de ontwikkelingen binnen de natuurkunde als discipline van belang dat leerlingen een beeld krijgen van moderne onderzoeksmethoden. Daarom zullen toepassingen van computer-ondersteund meten en computational physics in het curriculum geïntegreerd moeten worden.

Vanuit deze beschouwingen kwamen we tot de volgende afbakening van twee gebieden voor de invoering van IT-aspecten in het vak natuurkunde in de bovenbouw van havo/vwo.

Leerstofgebied 1. Expliciete aandacht voor de elektronica als bouwsteen van IT-toepassingen bij:

- meet-, stuur- en regelsystemen (technische automatisering);
- communicatiesystemen

Leerstofgebied 2. Door het curriculum heen aandacht voor toepassingen van computer-ondersteund meten en off-line computer-gebruik.

In deze opzet zou de invulling van gebied 2 slechts een geringe aanpassing van het examenprogramma vereisen en vooral de ontwikkeling van geschikte hardware- en software-instrumenten voor gebruik in de klas nodig maken. Een nadere uitwerking van leerstofgebied 1 maakte een analyse van het elektronica-gebied naar mogelijke inhouden noodzakelijk.

Fase II: Inhoudelijke analyse van leerstofgebied 1

In deze fase probeerden we een antwoord te krijgen op de volgende vragen.

1. Welke elektronica-inhouden zijn van belang bij de beschrijving van meet-, stuur- en regelsystemen en bij de beschrijving van communicatiesystemen?
2. Welk niveau van behandeling is het meest geschikt voor het verwerven van inzicht in de opbouw en de werking van informatieverwerkende systemen.

Hieronder volgt een samenvatting van de analyse en de belangrijkste conclusies.

Van de inhouden die samenhangen met leerstofgebied 1 is een classificatie gemaakt (zie fig. 2). De genoemde componenten, systemen en begrippen dienen ter aanduiding van gebieden, volledigheid wordt niet gepretendeerd. De indeling van figuur 2 representeert de verschillende niveaus waarop informatieverwerkende systemen beschreven kunnen worden. Geordend naar de mate van samenvoeging kunnen drie hoofdniveaus onderscheiden worden.

A. Het componentenniveau.

Een beschrijving van de werking van de elektronische basiscomponenten (bijv: diode, transistor, condensator) vanuit de theoretische fysica (vaste stof fysica, theoretische elektriciteitsleer).

B. Het modulenniveau.

Een beschrijving van de werking van modules (bijv: geheugen, teller, poortschakeling) opgebouwd uit basiscomponenten.

Figuur 2: Classificatie van inhoud

werking van componenten	spoel/trafo	diode	condensator	transistor bipo-lair	FET	weerstand	sensoren: NTC LDR	actuatoren: motor lamp luidspreker	gebied A: theoretisch fysisch (vaste stof,el.magnetisme)
elementaire schakelingen	gelijkrichter		transistor geschakeld als schakelaar			signaalversterker	ultra-sound		
werking van modules in termen van componenten	(gestabiliseerde) voeding amplitude detector	poorten flip-flop adders geheugens tellers			op-amp power-amp S & H ADC analoge MPX		samenstel van sensoren en/of actuatoren, bv. .verkeerslicht .bestuurbare arm		gebied B: elektrotechnisch
opbouw van systemen uit modules	data-acquisitie systeem regel systeem micro-computer						radio-ontvanger telefoonnet		
eigenschappen en mogelijkheden van systemen	frequentiegedrag regelsnelheid nauwkeurigheid						bandbreedte informatiedichtheid		experimenteel fysisch

C. Het systeemniveau.

Een beschrijving van de werking en eigenschappen van automatische systemen (meet- stuur- en regelsystemen) opgebouwd uit modules.

De verschillende niveaus sluiten op elkaar aan doordat het onderwerp van beschrijving van een lager niveau steeds de blackbox is van het daarop volgend niveau. Opklimmend krijgen we steeds minder inzicht in de details van het systeem en steeds meer zicht op de vraag hoe onderdelen bijdragen tot de centrale functies van het systeem: het verwerven, verwerken, overdragen en gebruiken van informatie.

Een behandeling op niveau A geeft het meeste inzicht in de *fysische* principes die ten grondslag liggen aan toepassingen van IT. In het huidige natuurkundeprogramma is de behandeling van de werking van een aantal componenten reeds opgenomen en de aandacht hiervoor wordt in het nieuwe WEN-programma, ook los van het informaticabeleid, nog uitgebreid. In antwoord op vraag 2 aan het begin van deze paragraaf constateren we echter dat een behandeling op dit niveau geen fundamentele inzichten oplevert in de opbouw en de werking van informatieverwerkende systemen.

Behandelingen op niveau B komen we onder andere tegen in de genoemde PLON-thema's en in veel duitse en engelse (bijv. Nuffield) natuurkundemethoden. De beschrijving op dit niveau heeft een sterk technisch karakter en is het best te kenmerken als elektrotechniek. Dit vakgebied past naar zijn aard beter in het beroepsonderwijs dan in het algemeen vormend onderwijs. Bovendien gaan de ontwikkelingen op dit gebied dermate snel dat kennis snel dreigt te verouderen. Vanuit informatica-oogpunt draagt dit soort kennis ook niet bij tot inzichten in de werking en de opbouw van informatieverwerkende systemen.

Een behandeling op niveau C zijn we alleen tegengekomen bij sommige MEP-projecten in Engeland. Het beschrijvingsniveau C biedt naar haar aard de meeste mogelijkheden voor het overdragen van belangrijke informaticaconcepten en sluit ook het beste aan bij een behandeling van moderne meetmethoden (o.a. data-aquisitiesystemen) in de experimentele fysica. De systeembenadering wordt als vertrekpunt gekozen; uitgangspunt (Geddes, 1984) is het centrale doel waarvoor het systeem dient. Vandaaruit bepaalt men de noodzakelijke bouwstenen (modules) ter vervulling van de functies in het proces om dat doel te realise-

ren. 'Afdaling' naar het niveau van elektronische schakelingen is mogelijk, maar niet noodzakelijk om te begrijpen op welke wijze de onderdelen samenwerken om de systeemdoelen te realiseren. Voor het onderwijs kan speciaal practicummateriaal - met de modules als bouwstenen - worden ontwikkeld met behulp waarvan leerlingen kunnen worden gestimuleerd elementair inzicht te verwerven in de opbouw en de werking van automatische systemen. De ontwikkeling van belangrijke technische vaardigheden en probleemoplossingsvaardigheden (De Vries, 1988) kan bevorderd worden door het ontwerpen, opbouwen en testen van automatische systemen met behulp van hierop toegesneden practicum-materiaal.

Gezien het bovenstaande hebben we een duidelijke voorkeur voor een behandeling op niveau C. We sluiten hiermee aan bij een ontwikkeling die, zoals hiervoor is aangegeven, in Engeland is ingezet; ten opzichte van de gevolgde benadering in de PLON-thema's betekent deze keuze een koerswijziging. Een behandeling op niveau C biedt ook een geschikt kader voor de bespreking van software-instrumenten als functionele modules van automatische systemen. Een belangrijk concept als 'uitwisselbaarheid van hardware- en software-instrumenten' kan in dit kader aan de orde komen.

Een overzichtslijst (fig. 3) van relevante modules is ontleend aan een functionele analyse (systeembenadering) van automatische systemen (Ellermeijer en Heijeler, 1986).

Zoals eerder is aangegeven gaat het vooral om de functies van modules en bijvoorbeeld niet om de preciese werking van de elektronische schakelingen. Een en ander leidt tot het volgende overzicht van de belangrijkste concepten.

Vanuit de informatica.

- De algemene opbouw van informatieverwerkende systemen (meet-, stuur- en regelsystemen).
- Informatie, gegevens en signalen; betekenis en verschillen.
- Representatie van gegevens.
- Analoge versus digitale signalen.
- Uitwisselbaarheid van hardware en software bij gegevensverwerking.
- Begrippen uit de procesregeling: zwakke, sterke terugkoppeling, regelsnelheid.

Figuur 3: Functies van verschillende modules in automatische systemen

Functies:	Modulen:
verwerving van gegevens: (signaalaanpassing t.b.v. verwerking)	sensoren signaalconditioneringsschakelingen: - signaalversterkers (incl. verzwakken en levelshifting) - filters - AD-omzetters
verwerking van gegevens:	hardware: - digitale bouwstenen: tellers, geheugens, logische schakelingen - bouwstenen van een microprocessor-systeem software: - stuurtalen - software t.b.v. analyse van meetgegevens
bestemming van de verwerkte gegevens. (signaalaanpassing t.b.v. sturing)	voor de mens (meetsystemen): - Tools (hardware, software) voor opslag en representatie van meetgegevens voor technische objecten (stuur-, regelsystemen): - DA-omzetters, vermogensversterkers - actuatoren

Vanuit de meettechniek.

- Nauwkeurigheid van systemen : resolutie bij AD-omzetting, signaal/ruisverhouding
- Frequentiegedrag : traagheid van sensoren, signaalvorming bij versterking, invloed van bemonsterfrequentie bij AD-omzetting.
- Sensorkarakteristieken : lineariteit, gevoeligheid, bereik.

Voorgaande analyse geeft een overzicht van de mogelijke inhouden van IT die in het natuurkundeprogramma kunnen worden ondergebracht. De raadpleging van deskundigen had als belangrijkste doel na te gaan of onze analyse volledig was. Zijn vanuit de automatiseringspraktijk en vanuit de praktijk van het natuurwetenschappelijk onderzoek geen essentiële kenmerken vergeten die voor integratie in aanmerking komen? Omdat, ook op grond van literatuuronderzoek, niet werd verwacht dat onder de deskundigen belangrijke verschillen van inzicht zouden bestaan over de vraag welke praktijkcontexten relevant zijn, is in eerste instantie besloten tot een mondelinge consultatie van een relatief klein aantal inhoudsdeskundigen. We hebben twee deskundigen met een experimenteel fysische achtergrond en één deskundige op het terrein van de procesbesturing geraadpleegd (Heijeler, 1986). Op basis van de vooraf toegestuurde analyse en een korte vragenlijst is per deskundige een gesprek van ongeveer twee uur gevoerd. De mondelinge consultaties gaven in grote trekken een bevestiging van onze analyse.

- Bij een behandeling van toegepaste informatica in de experimentele fysica en in de techniek is het belangrijk uit te gaan van een systeemgeoriënteerd denkkader (Wat is het doel? Welke functies moeten daartoe worden vervuld? Uit welke mogelijkheden kan dan worden gekozen? Hoe is de gekozen mogelijkheid technisch te realiseren?).
- Duidelijk werd hoe automatisering op alle niveaus van een fysisch experiment een allesbeheersende rol speelt.
- Een belangrijk probleem bij modern fysisch onderzoek is de enorme hoeveelheid gegevens die tijdens het meetproces beschikbaar komen. Bij de beschrijving van moderne meetmethoden kan daarom het onderwerp 'datareductie' niet gemist worden; dit zal zeker in het rijtje belangrijke concepten moeten worden opgenomen.
- Hiermee samenhangend wordt de toepassing van 'intelligente', zeer snelle gegevensverwerkende schakelingen (triggers) steeds belangrijker.

De reacties gaven geen grond voor de veronderstelling dat consultatie van andere deskundigen nieuwe informatie zou kunnen opleveren. Besloten is daarom met deze ronde te volstaan.

Fase III: Consultatie van onderwijsdeskundigen.

In de derde fase van het onderzoek was de aandacht gericht op

een nadere vaststelling van globale leerdoelen (Ellermeijer en Heijeler, 1986) en de keuze van geschikte contexten. Uiteraard stond deze fase niet los van de voorgaande analyse naar mogelijke inhouden. De oriëntatie op de systeembenadering (niveau C) was mede gemotiveerd vanuit informaticaleerdoelen en de doelstelling leerlingen een beeld te geven van moderne meetmethoden bij experimenteel onderzoek. De keuze van mogelijke contexten lag voor een belangrijk deel vast door de bevindingen in eerdere fasen van het onderzoek. Het ging hier vooral om het bereiken van een consensus tussen onderwijsdeskundigen omtrent inhoud en doelen en een verdere concretisering van het curriculumontwerp.

a. Discussiestuk

Ter voorbereiding van het keuzeproces werd een discussiestuk 'Informatietechnologie in het Natuurkunde-onderwijs' (Ellermeijer en Heijeler, 1986) opgesteld. Terwille van een zo duidelijk mogelijke beeldvorming werden hierin concrete blauwdrukken, inclusief leerstoflijsten, uitgewerkt voor drie alternatieve lessenseries (Ellermeijer en Heijeler, 1986). Eén blauwdruk werd uitgewerkt vanuit de context 'Automatisering van processen in diverse maatschappelijke sectoren' en een tweede blauwdruk werd uitgewerkt vanuit de context 'Laboratorium automatisering'. In het eerste geval ging het om toepassingen van IT uit de directe, maatschappelijke omgeving van leerlingen en in het tweede geval om toepassingen van IT bij natuurwetenschappelijk onderzoek.

Een contextkeuze bepaalt voor een belangrijk deel de mate waarin bepaalde leerdoelen en inhouden aan de orde komen. Een middenweg zou gevonden kunnen worden in een systematische (context-arme) behandeling van de leerstof; deze benadering is wellicht minder motiverend maar laat ook meer ruimte voor een evenwichtige en volledige behandeling van de onderwerpen. Om deze redenen is ook een blauwdruk uitgewerkt die beoogde een systematische behandeling te geven van modules die in meet- en regelsituaties onderscheiden worden.

Dit discussiestuk werd, vergezeld van een vragenlijst, toegestuurd aan 49 personen uit het onderwijsveld.

b. Selectie van respondenten

Als vertegenwoordigers van het onderwijsveld is gekozen uit

vakdidactici, leden van natuurkundecommissies (WEN, VALO), docenten havo/vwo en opleiders/docenten van vervolgoopleidingen. Bij de selectie van respondenten is gezocht naar vertegenwoordigers uit drie groepen.

Groep A: Vakdidactici en personen, die in beleidsachtige commissies zitting hebben vanwege hun bredere kijk op het bovenbouw natuurkunde-onderwijs. Zij behoren niet tot de direct uitvoerenden, zoals docenten.

Groep B: Docenten natuurkunde, die lesgeven in de bovenbouw van het havo/vwo. Uit deze groep zijn docenten gekozen waarvan wij wisten dat zij enige affiniteit tot het onderwerp van het discussiestuk hadden.

Groep C: Opleiders en docenten van vervolgstudies, vanwege mogelijke eisen van vervolgoopleidingen aan het natuurkundeprogramma.

Uit groep A werden 16 personen, uit groep B 14 personen en uit groep C 19 personen benaderd.

c. Respons

Uiteindelijk werden via de enquête 26 personen geconsulteerd (Mulder, 1986). Bij de groepen A en B was de respons goed (75%, resp. 71%), alleen in groep C viel de respons tegen. Er kwamen slechts 5 van de 19 enquête-formulieren terug en twee brieven. Mede gezien de reacties in de twee brieven moet de oorzaak vermoedelijk gezocht worden in de onbekendheid met het havo/vwo natuurkunde-curriculum. Overigens bleek uit de enquête-gegevens en uit de later gehouden studiedag (Verslag van de studiedag, 1987) niet de wens om vanuit de vervolgoopleidingen inhoudelijke eisen te stellen aan het nieuwe deel van het programma. Wel verwachten zij dat leerlingen leren omgaan met de computer, enig inzicht krijgen in de opbouw van een meet-systeem en dat de belangstelling voor fysieke informatica wordt gewekt.

d. Resultaten van de enquête

Van de drie alternatieve lessenseries werd de laatste (systematische behandeling) vrij algemeen verworpen en de andere twee ongeveer in gelijk mate ondersteund (Mulder en Ellermeijer, 1986). De aanhangers van "proces automatisering" kozen dit voornamelijk vanwege het toepassingskarakter, de herkenbaarheid voor meisjes, de aansluiting op vervolgoopleidingen waarin

natuurkunde een toepassingsrol heeft, en de maatschappelijke relevantie.

De "laboratorium automatisering" werd gekozen, omdat het goed aansluit bij het doen van experimenten, het goed is in te passen in de huidige onderwijssituatie, het een fundamentele aanpak kent, en een mooie natuurkundige inhoud heeft.

Uit de enquête-gegevens kwam verder naar voren:

- De centrale doelstelling, relevante elementen van IT in het natuurkunde eindexamenprogramma voor havo/vwo te integreren, werd breed onderschreven.
- Men was het eens met de keuze voor elektronica boven optica.
- Als IT-context werd automatisering van centraler betekenis voor het vak natuurkunde geacht dan communicatie.

Voor het ontwerp van de definitieve blauwdruk waren, naast de eerder besproken contextkeuze, de volgende enquête-gegevens van belang.

- Toepassingen als computer-ondersteund meten bij experimenten achtte men zeer belangrijk en de samenhang met de (micro)-elektronica en het geautomatiseerd meten en regelen werd gewenst gevonden.
- Aandacht voor off-line toepassingen vanuit de ontwikkeling binnen de natuurkunde als discipline werd benadrukt (ook al eerder door de automatiseringsdeskundigen). Men wilde niet dat modelling en simulaties teveel naar de achtergrond zouden verdwijnen.
- Aangegeven werd dat het wenselijk zou zijn een opzet in twee rondes te maken: bijvoorbeeld toepassingsgericht in havo en 4 vwo en diepgaander in 5/6 vwo.

Fase IV: Een blauwdruk voor twee lessenseries

De reacties uit de enquête gaven een duidelijke ondersteuning voor de keuzen binnen het discussiestuk en een voorkeur voor invulling volgens de varianten "proces automatisering" en "laboratorium automatisering". De belangrijkste verschuivingen naar aanleiding van de enquête-gegevens waren vooral te vinden in een grotere aandacht voor off-line toepassingen bij natuurwetenschappelijk onderzoek (leerstofgebied 2) en een keuze voor een behandeling in twee rondes.

Op basis van deze gegevens werd uiteindelijk een blauwdruk voor twee lessenseries uitgewerkt (Hogenbirk, Ellermeyer,

Mulder en Heijeler, 1986). Deze blauwdruk bevatte een concept leerstoflijst voor havo en voor vwo. Gebaseerd op deze leerstoflijsten werd per lessenserie een mogelijke opzet in vijf hoofdstukken geschetst. Naast het geven van een inhoudsbeschrijving en een overzicht van de leerdoelen werden per hoofdstuk suggesties gedaan voor mogelijke didactische werkvormen. We geven een samenvatting van de belangrijkste kenmerken.

I. Een lessenserie "Technische Automatisering" voor eind vierde klas havo/vwo (ong. 15 lessen).

Kenmerken:

- Een toepassingsgerichte behandeling van informatietechnologie in klas 4 havo en klas 4 vwo.
- Meet-, stuur- en regelsystemen in toepassingen uit de directe maatschappelijk omgeving van leerlingen komen hierbij aan de orde.
- Leerlingen verkrijgen inzicht in de opbouw en de werking van informatieverwerkende systemen door het zelfstandig ontwerpen en bouwen van dergelijke systemen vanuit een gegeven probleemstelling.
- De nadruk ligt hierbij meer op ontwerpvaardigheden en probleemoplossing dan op pure kennis.
- De systeembenadering wordt geïntroduceerd als een handige manier van denken bij het begrijpen en ontwerpen van systemen.

II. Een lessenserie "Computertoepassingen in de natuurkunde" voor eind vijfde/begin zesde klas vwo (ong. 15 lessen).

Kenmerken:

- De aandacht is gericht op IT-toepassingen bij modern natuurwetenschappelijk onderzoek.
- Inzicht wordt gegeven in de opbouw en de werking van data-acquisitie systemen.
- Bij de behandeling van meetsystemen wordt voor een grotere diepgang gekozen; gericht op de functie van het meetstelsel gaat het vooral om de vraag hoe eigenschappen van systeemonderdelen (modulen) de kwaliteit van het meetresultaat beïnvloeden.
- Inzicht wordt gegeven in het meereffect van het gebruik van de computer (on-line én off-line) bij experimenteel onderzoek, ook in traditionele meetsituaties in schoolverband.

- Bij off-line toepassingen in schoolverband gaat het vooral om het gebruik van verwerkingsprogrammatuur en modeling-pakketten bij de analyse van meetgegevens en bij hypothese toetsing.

Deze blauwdruk, met alle achtergrondinformatie over het vooronderzoek, was tenslotte onderwerp van bespreking op een studiedag van 14 januari 1987. Uitgenodigd voor deze studiedag waren de geraadpleegde respondenten uit het onderwijsveld en daarnaast ook leden van de resonansgroep informatica van het NIVO-project (project Nieuwe Informatietechnologie in het Voortgezet Onderwijs). Deze studiedag moest de afsluiting vormen van het vooronderzoek. Het ging nu om de vraag of na alle voorbereidingen op basis van deze blauwdrukken de gewenste legitimering gerealiseerd was. Doorslaggevend hiervoor was de vaststelling of de deelnemers aan de studiedag zich in grote lijnen konden vinden in de gekozen opzet en in de bijbehorende uitgangspunten. Voor de respondenten van de enquête was het zaak te beoordelen of hun wensen voldoende verwerkt waren en voor de NIVO-resonansgroep ging het om de afweging of in het eindresultaat informatica-aspecten voldoende aan bod kwamen.

Op hoofdpunten kon deze vraag na de studiedag bevestigend beantwoord worden (Verslag van de studiedag, 1987). De keuze voor een behandeling op systeem-niveau zoals uitgewerkt in de blauwdrukken werd onderschreven, al bleef wel de vraag open in hoeverre dit ten koste zou moeten gaan van de elementaire elektronica (Elektronica maakte op dat moment al deel uit van het WEN-voorstel). De discussies in werkgroepen tijdens deze studiedag gaven tenslotte geen aanleiding om de blauwdrukken nog op belangrijke punten te wijzigen. Vanaf dit moment kon gewerkt worden aan de productie van concreet lesmateriaal en de toetsing van vervaardigd materiaal via experimenten in de klas.

4. Nabeschouwing

We concluderen dat het bij de onderzoeksopzet genoemde hoofddoel (het bereiken van een consensus onder deskundigen) redelijk geslaagd is. De in de blauwdrukken neergelegde opzet en uitgangspunten werden tijdens de studiedag breed ondersteund. De bijbehorende leerstoflijsten (Hogenbirk, Ellermeyer, Mulder en Heijeler, 1986) zijn vrijwel ongewijzigd door de WEN overgenomen in de paragraaf 'Fysische Informatica'. De resonans-

groep van het NIVO, die tot taak had te bewaken dat informatica-aspecten in voldoende mate in het deel-curriculum aan de orde komen, is geheel akkoord gegaan met de voorgestelde opzet. In het kader van het NIVO-project is op basis van de blauwdrukken gewerkt aan de ontwikkeling van voorbeeldlesmateriaal. Dit voorbeeld lesmateriaal zal binnenkort op de voorloopscholen van de WEN gebruikt worden.

De legitimering van inhouden door automatiseringsdeskundigen verdient nog wel een kanttekening. In het hier beschreven onderzoek is gekozen voor een open vraagstelling (gesprekken van ongeveer 2 uur) bij de benadering van deze deskundigen m.b.t. tot de invulling van het gebied 'automatisering'. Op basis van een aantal richtvragen en een analyse van het onderhavige gebied is gepoogd inzicht te krijgen in de volledigheid van de analyse en een antwoord op de vraag of belangrijke praktijkcontexten gemist werden. Opgemerkt is dat de reacties geen aanleiding vormden het aantal consultaties uit te breiden. De verwachting leek gerechtvaardigd dat dit geen nieuwe informatie zou opleveren.

Deze conclusie lijkt nog steeds juist voorzover het de inbreng betreft van deskundigen met een experimenteel fysische achtergrond. Alle geraadpleegden beschikten over specifieke deskundigheid op het gebied van de experimentele fysica. Lopende het vooronderzoek echter werd, mede door de landelijke ontwikkelingen, de aandacht voor meer algemene informatica-aspecten steeds groter. Hierdoor werd ook de procesautomatisering als praktijk-context voor de behandeling van informatie-verwerkende systemen belangrijker. In dit licht bezien is de raadpleging van slechts één persoon met deskundigheid op het bredere terrein van de procesautomatisering aan de magere kant. Daarnaast zou het nu voorliggende curriculum-ontwerp achteraf bezien aan kwaliteit kunnen winnen door een confrontatie van de destijds geïnterviewde inhoudsdeskundigen met het voorlopige eindresultaat.

Literatuur

- Bevis, G., C. Cough & E. Deeson (1985) Ban electronics from schoolphysics, *Phys. Ed.*, 20, 109-113.
- Bevis, G. & M. Page (1986a) Microelectronics Education Programme Part 1. Practical Electronics.

- Bevis, G. & M. Page (1986b) Microelectronics Education Programme Part 2. Practical Electronics.
- Bürger, W. e.a. (1984) *IPN Curriculum Physik*. Institut der Pädagogik der Naturwissenschaften, Universität Kiel.
- Geddes, M. (1984) The system approach in electronic teaching. *Phys. Ed.*, 19, 268-271.
- Ellermeijer, A.L. & R. Heijeler (1986) Discussiestuk Informatietechnologie in het Natuurkunde-onderwijs. In: A.L. Ellermeijer (Red.), *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, 4-22, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Hamann, D. (1983) Computers in Physics: an Overview, *Physics Today*, 25-32,.
- Heijeler, R. (1986) Samenvatting van gesprekken met deskundigen Fysische Informatica. In: A.L. Ellermeijer (Red.), *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, bijlage E, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Hogenbirk, P. (1986) Ervaringen met de thema's Elektronica en Automatisering. In A.L. Ellermeijer (Red.), *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, bijlage H, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Hogenbirk, P., A.L. Ellermeijer, C.H.T. Mulder & R. Heijeler (1986) Voorstel voor Informatica in het Natuurkunde-onderwijs van havo-vwo. In A.L. Ellermeijer (Red.), *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, 26-40, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Klerk, M. de (1984) Electronica in natuurkundelessen, voor havo en vwo, *Faraday* 20.
- Mulder, C.H.T. & A.L. Ellermeijer (1986) De meningen van deskundigen over het discussiestuk: conclusies vanuit de vragenlijst. In: A.L. Ellermeijer (Red.) *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, 23-25, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Mulder, C.H.T. (1986) Rapport over de situatie m.b.t. vergelijkbaar onderwijs in Engeland. In: A.L. Ellermeijer (Red.), *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, bijlage F, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Mulder, C.H.T. (1986) De gegevens uit de vragenlijst bij het discussiestuk. In: A.L. Ellermeijer (Red.), *Natuurkunde-onderwijs en informatica*, verzamelrapport ITN 8602, bijlage G, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.

- Plomp, Tj. (1985) Onderwijs en informatietechnologie: situering van het symposium thema. In: *Onderwijs en Informatietechnologie*. Verslag van een SVO/COD-Symposium. Den Haag: SVO.
- PSOI-reeks (1986) nr. 12. *Aanvullend beleidskader Informatica Bovenbouw havo/vwo*. Den Haag: Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen.
- Rademaker, O. (1982) *FTI: Fysisch Technische Informatieverwerking*. nr.948; intern rapport van de vakgroep Systeem- en Regeltechniek, Eindhoven: Technische Universiteit.
- Wester, T.J.M. (1986) *Microcomputers en Electronica binnen het Natuurkunde Onderwijs aan de grammar-school*. MO-B scriptie, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Verslag van de studiedag (1987) *Natuurkunde-onderwijs en in Informatica*, ITN-rapport 8701, Didaktiek Natuurkunde, Universiteit van Amsterdam.
- Verster, Rademaker (1982) *Informatica en (technische) natuurkunde*. nr.825; intern rapport van de vakgroep Systeem- en Regeltechniek, Eindhoven: Technische Universiteit.
- Vries, M. de. (1988) *Techniek in het Natuurkunde-onderwijs*. Proefschrift, Eindhoven: Technische Universiteit, 47-50.
- Volger, J. (1984) *Natuurkunde in Nederland*, Overzicht en vooruitzicht. Verkenning Commissie Natuurkundig Onderzoek.
- Winkler Prins (1977) *Technische Encyclopedie, deel 4*, Amsterdam: Argus Elsevier, p. 117.