

Meten aan de ademhaling m.b.v. een micro.computer:

een case-study over de inrichting van computer-ondersteunende experimenten

A.L. Ellermeijer & R. Heijeler
Universiteit van Amsterdam

Summary

Micro-computer coupled experiments will get a place in physics teaching for several reasons, and as well in chemistry and biology teaching. Therefore, it is important to trace which arguments should play a role and which should not, in deciding whether or not we will make use of a micro-computer. Also, it is important to find out which demands must be met by such computerized experiments.

This article describes the process of development of the spirometer-experiment. In this experiment pupils explore their own breathing. On the basis of class-room experiences the experiment was adjusted several times.

The following criteria appeared to be of great importance:

- 1. giving much of the initiative to the pupils;*
- 2. transparency of the process of measuring;*
- 3. interactive data-processing.*

The spirometer-experiment is part of the theme 'Physics of the human body' of the PLON vwo-bb-project, a physics curriculum development project in the Netherlands.

Inleiding

De beschikbaarheid van goedkope micro-computers maakt het mogelijk leerlingen kennis te laten maken met een aspect van modern fysisch onderzoek. Immers, in de experimentele fysica wordt momenteel bijna elke meetopstelling bestuurd door een computer.

Bovendien kan de computer de practicumssituatie op de scholen in twee richtingen verbeteren. Bestaande experimenten kunnen worden uitgebreid en verbeterd (bijv. de registratie van bewegingen), nieuwe experimenten komen binnen het bereik (bijv. storage-scope toepassingen). Het is dan ook begrijpelijk dat leraren natuurkunde enthousiast op deze nieuwe mogelijkheden reageren (De Bruyn, 1982) en de afgelopen jaren actief en talrijk aan de nascholingscursussen hebben deelgenomen.

Het project 'Toepassing van de micro-computer bij natuurkunde-experimenten'

Dit project van de U.v.A. stelt zich ten doel de invoering van het zojuist beschreven computergebruik op een verantwoorde wijze te laten plaatsvinden en onderscheidt daartoe drie taken: nascholing, onderzoek en ontwikkeling (Mulder, 1986). In de eerste jaren heeft het accent vooral gelegen op de ontwikkeling van een aantal experimenten en een AD/DA-omzetter (Heijeler, 1982) en op het opzetten van een nascholingspakket dat momenteel ondermeer bestaat uit een cursus voor docenten van universiteiten en NLO's (Ellermeijer, 1984a). Vanuit de ervaringen uit de eerste jaren van het project is in 1984 een onderzoeksplan geformuleerd (Ellermeijer, 1984b). Centraal in dit plan staat de wens een visie te ontwikkelen m.b.t. de vragen:

- i. welke leerdoelen op het terrein van micro-electronica en processen van computer-ondersteund meten behoren in het havo- resp. vwo-programma te worden opgenomen;
- ii. op welke plekken in het natuurkunde-curriculum is het inschakelen van de micro-computer bij experimenten zinvol en verantwoord.

De eerste vraag ligt op het niveau van het gehele natuurkunde-curriculum en heeft zeker ook te maken met de wens de beeldvorming van de leerlingen m.b.t. het vak natuurkunde up-to-date te houden. De vraag is des te dringender vanwege de nieuwe beleidskaders voor informatica in de tweede fase voortgezet onderwijs (Arvo-1,1986) en vanwege de werkzaamheden van de W.E.N. Op basis van een uitgebreide studie van literatuur en (buitenlandse) curricula en na gesprekken met enkele vakdeskundigen is mei 1986 een discussiestuk afgerond (Heijeler, 1986). Na consultatie van een grotere groep betrokkenen zal in de loop van 86/87 lesmateriaal ontwikkeld worden.

De tweede vraag ligt meer op incidenteel niveau en vraagt naar de relevante motieven om in een bepaalde experimentele situatie te besluiten tot de toepassing van een micro-computer. Daarnaast is het van belang criteria te ontwikkelen waaraan een dergelijk experiment zou moeten voldoen. Uiteraard zal ook de invoering van een aantal van deze experimenten van invloed zijn op de beeldvorming van de leerlingen over het vak natuurkunde, speciaal m.b.t. de experimentele technieken.

Motieven voor computer-ondersteunde experimenten

In de experimentele natuurkunde biedt het gebruik van computers grote mogelijkheden daar waar grote hoeveelheden meetgegevens verzameld moeten worden. Voor het registreren van grootheden die niet al te snel variëren zijn nog wel alternatieven: mechanische schrijvers zijn bijvoorbeeld te gebruiken voor de registratie van de luchtdruk en van de luchtvochtigheid, en met x-t-recorders kunnen elektrische signalen opgetekend worden. Deze signalen mogen geen hogere frequentiecomponenten

ten bevatten dan 20-50 Hz. Recorders zijn echter vrij kostbaar en/of erg specifiek, voor een toepassing, bruikbaar. De meeste scholen bezitten ze dan ook niet. De lage prijzen van micro-computers en hun grotere flexibiliteit maakt dat tegenwoordig in bovengenoemde situaties steeds vaker de micro-computer wordt toegepast. Voor het natuurkunde-onderwijs is het aantrekkelijk dat deze nieuwe methode van registratie binnen het bereik ligt.

Per experiment zullen naast de algemene motivatie m.b.t. de beeldvorming steeds verschillende additionele motieven een rol spelen. Enkele voorbeelden van deze motieven zijn:

- het mogelijk maken van levensechte experimentele situaties, waarvan het spirometer-experiment een voorbeeld is;
- het verbeteren van bestaande experimentele mogelijkheden, waarvan de frequente registratie van de plaats van karretjes op een luchtkussenbaan een voorbeeld is (Heijeler, 1984);
- het verrijken van de leerstof op zeker moment met een, door gebruik van de micro-computer mogelijk geworden, nieuw experiment (bijv.: storage-scoop).

Bij de uiteindelijke beslissing wel of niet een computerondersteund experiment toe te passen zal steeds de didactische wenselijkheid bepalend moeten zijn en niet de experimentele mogelijkheid. Vanuit dit standpunt wordt ook binnen het Projectenkader Bovenbouw Natuurkunde een samenhang voorgestaan tussen curriculumontwikkeling en de toepassing van informatietechnologie (SLO, 1986).

De spirometerproef is een voorbeeld van een in een dergelijke samenhang ontwikkeld experiment. De afdeling Didactiek Natuurkunde was een van de deelnemers aan het VWO-bb-project van PLON, UvA en RUG. Dit project heeft tot doel een ten dele thematisch curriculum te ontwikkelen (Grundeman, 1985). Een van de contextgebieden is het eigen lichaam. Bij het onderwerp Ademhaling is de centrale activiteit voor de leerlingen het onderzoek van de eigen ademhaling. Als meetinstrument wordt daarbij een spirometer gebruikt: een apparaat waarmee de hoeveelheid in- en uitgedemde lucht continu als functie van de tijd gemeten wordt. Aanvankelijk werd voor de registratie een x-t-schrijver gebruikt. Bij deze proef leek het gebruik van een micro-computer voor de registratie van de ademhalingsbewegingen geschikt. Vanaf 1982 is aan de ontwikkeling van deze proef gewerkt, waarbij steeds nieuwe versies werden ontwikkeld mede op basis van ervaringen met leerlingen. In het vervolg van dit artikel wordt een beschrijving gegeven van de onderwijssituatie en het experiment, die momenteel in de klas kunnen worden aangetroffen. Daarna wordt het ontwikkelproces beschreven. Aan het eind van het artikel worden conclusies getrokken m.b.t. de inrichting van dergelijke computer-ondersteunde experimenten.

Beschrijving van de onderwijssituatie

Voor het vwo-bb thema Lijfwerk zijn 15 lessen aan het begin van de vierde klas beschikbaar. Het thema bestaat uit een 5-tal onderwerpen, waarvan Ademhaling er een is. Na 2 inleidende lessen waarin de leerlingen zich oriënteren op de verschillende onderwerpen, splitst de klas in 5 groepen van 4-6 leerlingen. Een groep besteedt 6 lessen aan de bestudering van een van de vijf onderwerpen. Hierna volgen er presentaties van de verschillende groepen aan de rest van de klas, en aan het eind van het thema wordt een afsluitend proefwerk afgenomen (Schrijfgroep Nijmegen, 1983a en 1983b). Bij het onderwerp Ademhaling gaat het er vooral om dat de leerlingen door eigen onderzoek wat te weten komen over het functioneren van de longen en over de daarvoor kenmerkende grootheden.

De experimenten met de spirometer

Na een inleidende proef waarin uitgeademde lucht onder een aanvankelijk geheel met water gevulde omgekeerde maatcilinder wordt geblazen, werken de leerlingen gedurende vier lessen met de spirometer.

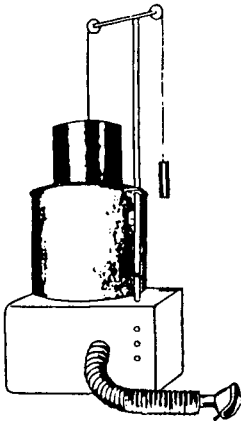


Fig.1: Spirometer

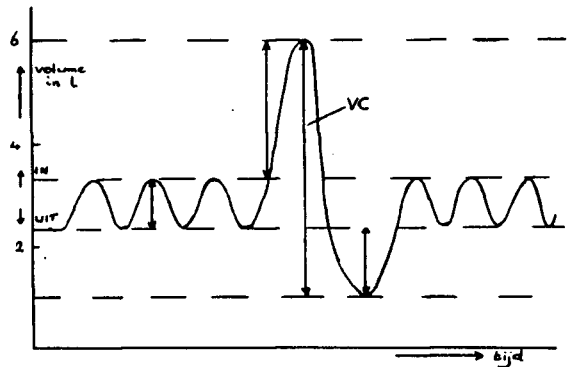


Fig.2: Voorbeeld van een spirogram

Allereerst wordt de spirometer zelf beschreven (zie fig.1). Deze bestaat uit een aan de bovenzijde gesloten ronde buis (klok). De ruimte onder de klok is afgesloten d.m.v. een waterkering. Door een tweetal verbindingsslagen wordt in- en uitgeademd, waardoor de klok op en neer beweegt. Met behulp van een potentiometer wordt de beweging van de klok omgezet in een elektrische spanning, die vervolgens met een x-t-schrijver of een micro-computer wordt geregistreerd.

Na de beschrijving van de spirometer en het laten zien van een paar

voorbeelden van spirogrammen met enkele van de belangrijkste longvolumina (zie fig. 2), wordt de meetmethode uiteengezet. De te meten grootte (de volumina van in- en uitgeademde lucht) wordt d.m.v. een transducer (de potentiometer) omgezet in een elektrisch signaal. De tweede stap is het omzetten van de elektrische spanning in codes (getallen) die de computer ingevoerd kunnen worden. De voor dit experiment gebruikte AD-omzetter is uitgevoerd met een decimaal display, zodat goed duidelijk is welke functie de AD-omzetter heeft, en welke informatie de computer in gaat. M.b.v. een ijking moet worden vastgelegd hoe de door de AD-omzetter geproduceerde getallen (0-255) samenhangen met het te meten volume.

In de eerste practicumopdracht voeren de leerlingen een *ijkmeting* uit zonder daarbij de computer te gebruiken. De leerlingen maken een grafiek van de getallen van de AD-omzetter voor 6 verschillende standen van de spirometerklok. Uit de helling van de grafiek bepalen ze de evenredigheidsfactor. Deze ijking is mogelijk dankzij de aanwezigheid van het display op de AD-omzetter.

In de tweede practicumles wordt gewerkt met de complete opstelling. De leerlingen krijgen nu te maken met het besturen van en communiceren met het programma. Na het inschakelen van de computer verschijnt op het beeldscherm een menu met als keuzemogelijkheden: 1) de ijking; 2) spirogram opnemen; 3) opnemen van meerdere spirogrammen; 4) verwerking en 5) programma verlaten.

De leerlingen doen nogmaals een ijkmeting. De tijd die nu hiervoor nodig is, is slechts enkele minuten. Het programma vraagt de klok van de spirometer achtereenvolgens in de standen 11, 21, .., 61 te brengen. Op het scherm worden daarna de gemeten waarden in grafiekvorm getoond samen met de beste rechte door de meetpunten. Ook de evenredigheidsfactor wordt afgedrukt; die kan worden vergeleken met de eerder door de leerlingen bepaalde waarde.

Na de ijking wordt in de volgende opdracht de *rustademhaling* bestudeerd. De kenmerkende grootheden hiervoor zijn: het ademvolume (AV), de ademprequentie (f), en het ademminuutvolume (AMV). Met menukeuze 2 wordt een spirogram opgenomen. Het programma vraagt vooraf hoeveel metingen er per seconde gedaan moeten worden (de sample-rate) en hoe lang de meting moet gaan duren. De leerlingen-instructie geeft aan welke waarden voor deze meting gekozen kunnen worden: 10 metingen per seconde, meetduur 40 s. Nadat op het beeldscherm een assenstelsel met schaalverdeling is getekend en de proefpersoon gereed is, kan de meting gestart worden. Het spirogram wordt nu zonder merkbare tijdvertraging op het scherm opgetekend. De leerling beslist nu of de meting goed is en verwerkt kan worden, of dat de meting opnieuw moet. Om m.b.v. het verwerkingsprogramma de grootheden waarin je geïnteresseerd bent te bepalen (hier: AV, f, AMV), wordt veel actie van de gebruiker

verlangd. AV en f worden bepaald aan de hand van de maxima en minima in het spirogram. Deze maxima en minima moeten door de leerling zelf in de grafiek worden aangewezen. AV, f en AMV worden vervolgens door het programma berekend, waarbij de berekeningswijze steeds duidelijk wordt aangegeven. Deze wijze van verwerking betekent dat de leerling moet weten *hoe* de te bepalen grootheden uit het spirogram afgeleid kunnen worden; alleen dan worden de correcte waarden gevonden.

De eerste keer kost een goede bepaling van f, AV en AMV nog behoorlijk wat tijd: 10-15 min. Herhaling van dezelfde meting met de andere leerlingen van de groep, gaat sneller: 5 min. per leerling. De leerlingen hebben voldoende tijd over om de resultaten te vergelijken en na te denken over mogelijke verklaringen voor de onderlinge verschillen.

De derde en vierde les wordt gekeken naar longvolumina die samenhangen met *maximale prestaties*. VC (vitale capaciteit), IRV en ERV (inspiratoir resp. expiratoir reserve volume) worden gemeten. Elk van deze grootheden is te bepalen uit het spirogram als een volumeverschil tussen twee punten. Het opnemen van deze spirogrammen gebeurt met aangepaste *sample-rate* en *meetduur*. Het verwerkingsprogramma stelt de leerling in staat om in het spirogram op het beeldscherm twee punten aan te wijzen, waarna het volumeverschil ertussen wordt aangegeven. Het verwerkingsprogramma is hier een gereedschap, dat de leerling op de juiste wijze moet gebruiken. De bovenbesproken longvolumina zijn alle statische grootheden. Twee dynamische grootheden die iets zeggen over de elasticiteit van de longen en over de luchtweerstand in de luchtwegen zijn de in- en expiratoire secundecapaciteiten (ISC en ESC): de hoeveelheid lucht die in één seconde maximaal in- resp. uitgeademd kan worden. Na deze ademhalingsbewegingen geregistreerd te hebben, is er een verwerkingmogelijkheid waarbij een 1-seconde interval over het spirogram geschoven kan worden. Ook in dit geval wordt het volumeverschil op het scherm aangegeven.

In het laatste experiment levert de proefpersoon vóór de meting een flinke inspanning en wordt onderzocht wat de invloed daarvan is op f, AV en AMV. Met tussenpozen van steeds 15 seconden worden 4 spirogrammen opgenomen. Na uitwerking van de 4 spirogrammen is te zien hoe f, AV en AMV na de inspanning weer dalen in de richting van hun rustwaarden.

Na afloop van de experimenten wordt ingegaan op de interpretatie en de significantie van de gemeten grootheden. De gemeten waarden krijgen betekenis door ze te vergelijken met referentiewaarden. Er worden in het lesmateriaal vergelijkingen gegeven voor diverse longgrootheden, met lichaamslengte, leeftijd en geslacht als parameters. Tijdens het practicum hebben de leerlingen reeds gezien dat er van persoon tot persoon behoorlijke verschillen kunnen zijn.

Het ontwikkelproces van het spirometer-practicum

Voor het registreren van de spiogrammen werd aanvankelijk gebruik gemaakt van een x-t-schrijver. Bij het ontwikkelen van de versie met de micro-computer zijn de meeste leerdoelen gehandhaafd. Van de leerling wordt na de practicumlessen het volgende verwacht. Hij/zij moet

- a. weten welke longvolumina voor het functioneren van de longen van belang zijn;
 - b. weten op welke wijze en met welke instrumenten die grootheden gemeten kunnen worden;
 - c. weten wat je in feite registreert met een spirometer, namelijk volumina in- en uitgeademde lucht;
 - d. uit een spirogram de grootheden uit a. kunnen bepalen;
 - e. een idee krijgen wat typische waarden zijn voor de diverse grootheden en wat hun spreiding van persoon tot persoon kan zijn;
 - f. geleerd hebben op welke experimentele details gelet moet worden om een goede meting te doen;
 - g. weten welke stappen nodig zijn om het met de spirometer gemeten volume in een computer te kunnen invoeren;
 - h. begrijpen waarom een ijkmeting nodig is en wat de betekenis is van de ijkfactor;
 - i. weten dat bij computer-registratie aangegeven moet worden hoeveel maal per seconde gemeten moet worden en waar die keuze van afhangt.
- Uit de doelen b., d. en f. blijkt dat we eraan hechten, dat de leerlingen niet alleen de definitie van de longvolumina kennen (a.), maar ook allerlei operationele kennis bezitten nodig om ze te bepalen. De punten g. en i. zijn specifiek voor het gebruik van een computer voor registratie. Bij gebruik van de x-t-schrijver zijn wel parallellen hiervoor aan te geven, bijvoorbeeld i.p.v. de sample-rate (i.) de snelheid waarmee het papier loopt.

Met het leerpakket moesten bovengenoemde doelen bereikt kunnen worden, maar bovendien moest een goed beeld gegeven worden van de mogelijkheden van een computer in meetsituaties. Dit leidde tot de volgende uitgangspunten:

1. Het programma is menu gestuurd.
2. De meting moet niet volautomatisch gebeuren: veel interactie is nodig met de gebruiker bij de bepaling van de grootheden uit de meting.
3. Het inzichtelijk maken van het meetproces.

Ad 1. Door te kiezen voor menusturing, wordt het initiatief aan de gebruiker gelaten. Dit in tegenstelling tot een opzet waarbij de gebruiker automatisch langs alle opdrachten gevoerd wordt en steeds reageert op vragen van het programma. Door de keuze voor menusturing wordt de leerling regelmatig tot nadenken over het vervolg gedwongen.

Ad 2. Om de inhoudelijke aspecten - met name punt d. - uit de verf te laten komen, moet de leerling zelf met de meting aan de gang kunnen.

Wij kozen voor een grafische interactievorm waarbij de leerling m.b.v. cursortoetsen in de grafiek (het spirogram) moet aangeven welke meetpunten voor de te bepalen grootheid gebruikt moeten worden. Het uitlezen van gegevens en het omrekenen naar volume en tijd wordt de gebruiker uit handen genomen. Hoewel de computer zeer wel in staat is om volautomatisch direct eindresultaten te geven en dit ook bij professionele toepassingen zeker zal gebeuren, is bij educatief gebruik vaak een stap terug geboden.

Ad 3. Er moet gezorgd worden voor een optimale relatie tussen de grootheid die gemeten wordt en hetgeen de computer aan meetgegevens presenteert. Dit kan onder meer bereikt worden door gelijktijdig met de meting de gemeten grootheid op het beeldscherm weer te geven en door de functie van de hardware die tussen meetapparaat en computer zit (de interface) aanschouwelijk te maken.

Op basis van bovengenoemde uitgangspunten werd midden 1982 de eerste versie van het programma voor de Apple II ontwikkeld. De bestaande leerlingen-instructie werd aangepast aan de veranderde wijze van registreren. De eerste versie hebben we uitgeprobeerd door een tiental leerlingen (eind 3e en 4e klas) op ons instituut de experimenten te laten uitvoeren. Van deze 10 leerlingen hadden vier het spirometerpracticum al eerder op hun school in het kader van het thema Lijfwerk gedaan met een x-t-schrijver. De andere zes hebben zowel de x-t-schrijver versie als de micro-computer versie op het instituut uitgevoerd. Met deze test hebben we geprobeerd een antwoord te krijgen op de volgende vragen:

1. Hoe is de overall indruk: kunnen de leerlingen met het pakket uit de voeten, blijven ze gemotiveerd voor het practicum?
2. Wat schort er in technisch opzicht aan met name het programma, is het programma leerlingvriendelijk en leerlingproof?
3. Bereiken de leerlingen de doelstellingen van het practicum; op welke punten is verbetering wenselijk?

Uit de observaties tijdens de uitvoering en uit de gesprekken met de leerlingen na afloop van het practicum bleek dat de leerlingen het practicum erg leuk vonden. Ze waren continu aan het werk en er was niet of nauwelijks een moment van verslapping van hun aandacht. Het omgaan met het programma hadden ze vrij snel onder de knie, ondanks het feit dat ze geen enkele voorafgaande ervaring met computers hadden. Na een minuut of 20 kennen ze de structuur en de vraagstellingen van het programma en wordt er wat de besturing van het programma betreft al enigszins routinematig gehandeld.

De observaties leverden een lijst met punten op waar het programma verbetering behoefde. Deze hadden vooral betrekking op de lay-out van teksten op het beeldscherm, op de redactie van vraagstellingen die soms onduidelijk bleek, alsmede op de antwoorden die de computer van de leerlingen verwachtte. Daarnaast deed het programma in enkele situaties niet wat het had moeten doen.

Na afloop zeiden de leerlingen te vinden, dat door het gebruik van de computer niet goed uit de verf komt hoe sommige grootheden uit het spirogram bepaald kunnen worden. Ze zeiden er niet zeker van te zijn of ze zelf, zonder hulp van de computer, uit een spirogram de grootheden zouden kunnen bepalen. Dit gold met name voor de bepaling van f , AV en AMV.

De leerlingen vonden de uitvoering met de computer wel veel prettiger dan die met de x-t-schrijver. Als pluspunten van de micro-computer werden genoemd:

i. de registratie met de micro-computer verloopt technisch beter: met de schrijver ging vaak tijd verloren doordat het pennetje niet wilde schrijven en de instelling verliep;

ii. de grotere efficiëntie: de ijkmeting met de x-t schrijver duurt inclusief de uitwerking tenminste 30 minuten, zodat in dezelfde les nauwelijks tijd is voor het opnemen van spirogrammen. Met de computer is de ijkmeting een kwestie van minuten. Ook blijkt, doordat de omslachtige omrekening naar volumina niet zelf hoeft te worden uitgevoerd, in een les bij meerdere leerlingen longvolumina gemeten te kunnen worden die daardoor ook meteen onderling te vergelijken zijn.

Midden 1983 werd door ons een tweede versie ontwikkeld voor de Commodore-64. De grafische mogelijkheden van de Commodore-64 zijn uitgebreider dan die van de Apple. Een betere lay-out van tekstpagina's is mogelijk, meerdere grafische schermen zijn beschikbaar en er is een betere grafische interactie mogelijk d.m.v. zogenaamde sprites.

De belangrijkste veranderingen die we hebben aangebracht, zijn:

- de grafiek wordt gelijktijdig met de meting meegetekend;
- de bepaling van f , AV en AMV uit een spirogram vereist meer actie van de gebruiker en de berekeningen die het programma daarna doet worden uitgebreider op het scherm uitgeschreven;
- de lay-out is verbeterd, o.m. door betere tekstpagina's en schaalverdeling en getallen bij de assen;
- in de leerlingen-instructie is aan het begin van het practicum een opdracht opgenomen waarin zonder gebruik van de computer m.b.v. het display op de AD-omzetter door de leerling zelf een bepaling van de ijkfactor wordt gedaan.

Op twee van de scholen die najaar 1983 Lijfwerk gebruikten, zijn gedurende enkele lessen observaties uitgevoerd. In het algemeen liep het practicum goed. De groepen waren continu met het practicum bezig. Een groep bestaande uit twee meisjes en een jongen functioneerde slecht. De jongen beschouwde zich als computerdeskundige, maar bracht er door een slechte voorbereiding juist weinig van terecht. Hij frustreerde het werken in de groep door onder meer bezig te zijn met het 'uitproberen' van het programma. Door de aanwezigheid van een computer is het gevaar blijkbaar groot dat een groepslid met computer-

ervaring alles naar zich toe trekt. Ervaring blijkt in dit geval eerder een gevaar dan een voordeel. Op dit punt is extra waakzaamheid van de docent geboden. Tijdens de practica werd niet vaak de hulp van de docent ingeroepen; de instructies blijken voldoende duidelijk te zijn. Met het programma waren eveneens weinig problemen. De informatie op het scherm is begrijpelijk en technisch bleek het programma aardig leerlingproof te zijn. De enige hinderlijke technische tekortkoming blijkt het laden van het programma vanaf cassette te betreffen: dit kost ca. 7 minuten. Een enkele keer mislukte het laden, waardoor opnieuw 7 minuten verloren ging.

Een indruk van wat de leerlingen geleerd hebben, kregen we door het bijwonen van de presentatielessen. Er zijn van groep tot groep grote verschillen in de kwaliteit van presenteren. De leerlingen blijken in het algemeen de essenties van het practicum goed op een rij te kunnen zetten.

De laatste verbeteringen die we aangebracht hebben naar aanleiding van deze ervaringen zijn:

- i. het programma wordt nu geleverd in een EPROM-cartridge, zodat enkele seconden na het aanschakelen van de computer het programma beschikbaar is;
- ii. het ongewenst uit het programma stappen is geblokkeerd: de "computerdeskundige" onder de leerlingen krijgt geen kans meer.

De leerlingen-instructie hebben we - evenals de hardware - ongewijzigd gelaten.

De reacties van de leraren die najaar 1984 het thema Lijfwerk uitgevoerd hebben, waren unaniem positief. De groepen leerlingen die Ademhaling deden, konden zeer goed zelfstandig uit de voeten met het spirometer-practicum en hadden nauwelijks nog begeleiding nodig.

Conclusies

Het onderdeel Ademhaling van het thema Lijfwerk heeft een zeer bevredigende invulling gekregen. De leerlingen worden in staat gesteld een aantal belangrijke longgrootheden van henzelf te meten en krijgen op die manier een beter inzicht in het functioneren en in de eigenschappen van de longen. Bij deze experimenten heeft de micro-computer een belangrijke ondersteunende functie, zonder het inhoudelijke werk te domineren. Het spirometer-experiment in de huidige vorm is dan ook naar onze mening een goed voorbeeld van waar het gebruik van de micro-computer iets zinvol toevoegt aan de traditionele experimentele mogelijkheden. In dit geval is een reële meting gerealiseerd, waaraan vanuit een thematische leerstofkeuze behoefte was.

Tijdens het ontwikkelproces hebben de in de aanvang gekozen uitgangspunten hun belang bewezen en werden ze steeds verder aangescherpt. De *menu-gestuurde* programma-opzet maakt dat het programma flexibel bruik-

baar is en dat de gebruiker moet bepalen wat de volgorde van werken is. Zowel door de ijkmeting als door het gelijktijdig meetekenen tijdens de registratie is bereikt dat de *meetprocedure* voor de leerlingen doorzichtig is. Daarnaast wordt een verband gelegd tussen de grootheid die gemeten moet worden en de meetprocedure, doordat de gebruiker de *sample-rate* en de meettijd moet aangeven. Bij de *verwerking* wordt nu het uitgangspunt gehanteerd, dat alleen een gebruiker die weet op welke manier uit de meting de grootheden bepaald kunnen worden, tot de gewenste resultaten kan komen. Bij het spirometer-experiment betekent dit, dat de gebruiker de essentiële punten in het spirogram moet aanwijzen. Pas daarna assisteert het verwerkingsprogramma bij de berekeningen.

Ook bij de ontwikkeling van andere experimenten is ons gebleken dat deze *criteria* gehanteerd kunnen worden en dat er rekening houdend met de voor die experimenten specifieke situaties ook aan voldaan kan worden. De criteria zijn belangrijk voor experimenten bedoeld om binnen het leerproces te functioneren. Nader onderzoek bij meer experimenten zal moeten uitwijzen of deze criteria moeten worden aangevuld en of ze inderdaad leiden tot de gewenste leerresultaten.

Als methode om de experimenten te evalueren is gebleken dat met het observeren van kleine groepjes leerlingen tijdens de uitvoering en met het achteraf interviewen van de leerlingen een goede indruk te verkrijgen is van de inzichtelijkheid van de meet- en verwerkingsprocedures, de duidelijkheid van de teksten op het scherm en in het lesmateriaal en van de technische onvolkomenheden van het pakket. De observaties tijdens de presentaties van de groepen in de klas gaven enige informatie over het leerresultaat van het practicum.

Er is echter nog niet minitieus gekeken naar de leereffecten. Een uitgebreider onderzoek daarnaar, maar vooral ook naar een mogelijk effect van een computer-ondersteund experiment op de beeldvorming van leerlingen werd in het voorjaar van 1985 uitgevoerd door een student van de Technische Hogeschool Eindhoven, in samenwerking met onze afdeling. Een verslag van dit onderzoek is als apart artikel opgenomen (Findhammer e.a., 1986).

Literatuur

- ARVO-I. *Tussen magie en mogelijkheid*, Advies van de gezamenlijke Adviescommissies Primair en Voortgezet Onderwijs, Zeist: 1986.
- Bruyn, I. de, et al. *De computer in het natuurkunde-onderwijs*, Verslag NVON-zomercursus 1982, TH-Twente.
- Ellermeijer, A.L. en Hul, F.E. van 't. *Deskundigheidbevordering toepassing micro-computers in de natuurwetenschappen*. Universiteit van Amsterdam, 1984a.

- Ellermeijer, A.L. en Heijeler, R. *Metten met de micro-computer bij het vak natuurkunde in de bovenbouw van het havo/vwo*, Intern rapport Vakgroep Fysische Experimenteerkunde, Amsterdam: U.v.A., 1984b.
- Ellermeijer, A.L. en Heijeler, R. *Diskussiestuk Informatie-technologie in het Natuurkunde-onderwijs*. Intern rapport Vakgroep Fysische Experimenteerkunde, Amsterdam: U.v.A., 1986.
- Findhammer, W., Heijeler, R. en Verkerk, G. dit tijdschrift.
- Grundeman, R.L.F. en Leijenaar, D. *Natuurkunde in thema's en blokken*, *NVON-maandblad*, april 1985.
- Heijeler, R. en Ellermeijer, A.L. Een AD/DA-omzetter met decimale uitlezing, *Faraday*, 51, 5, 177-179, 1982.
- Heijeler, R. en Ellermeijer, A.L. The use of a micro-computer for collision experiments on an air-track. In: Lijnse, P.L. (ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics*, Proceedings of the GIREP conference 1984, Utrecht: W.C.C., 1985.
- Mulder, C.H.T. en Ellermeijer, A.L. *Nascholing, ontwikkeling en onderzoek bij toepassing van micro-computers in schoolvakken*, Paper gepresenteerd op de VULON-conferentie, 1986.
- Schrijfgroep Nijmegen. *Lijfwerk*, Amsterdam: 1983. Verkrijgbaar bij PLON, Utrecht.
- Schrijfgroep Nijmegen. *Lijfwerk*, een lessenserie omtrent de natuurkunde van het menselijk lichaam. In: Buis, N. et al, *Verslag NVON-zomerconferentie 1983*, Amsterdam.
- SLO. *Projectenkader Bovenbouw Natuurkunde*, Enschede: S.L.O., 1986.