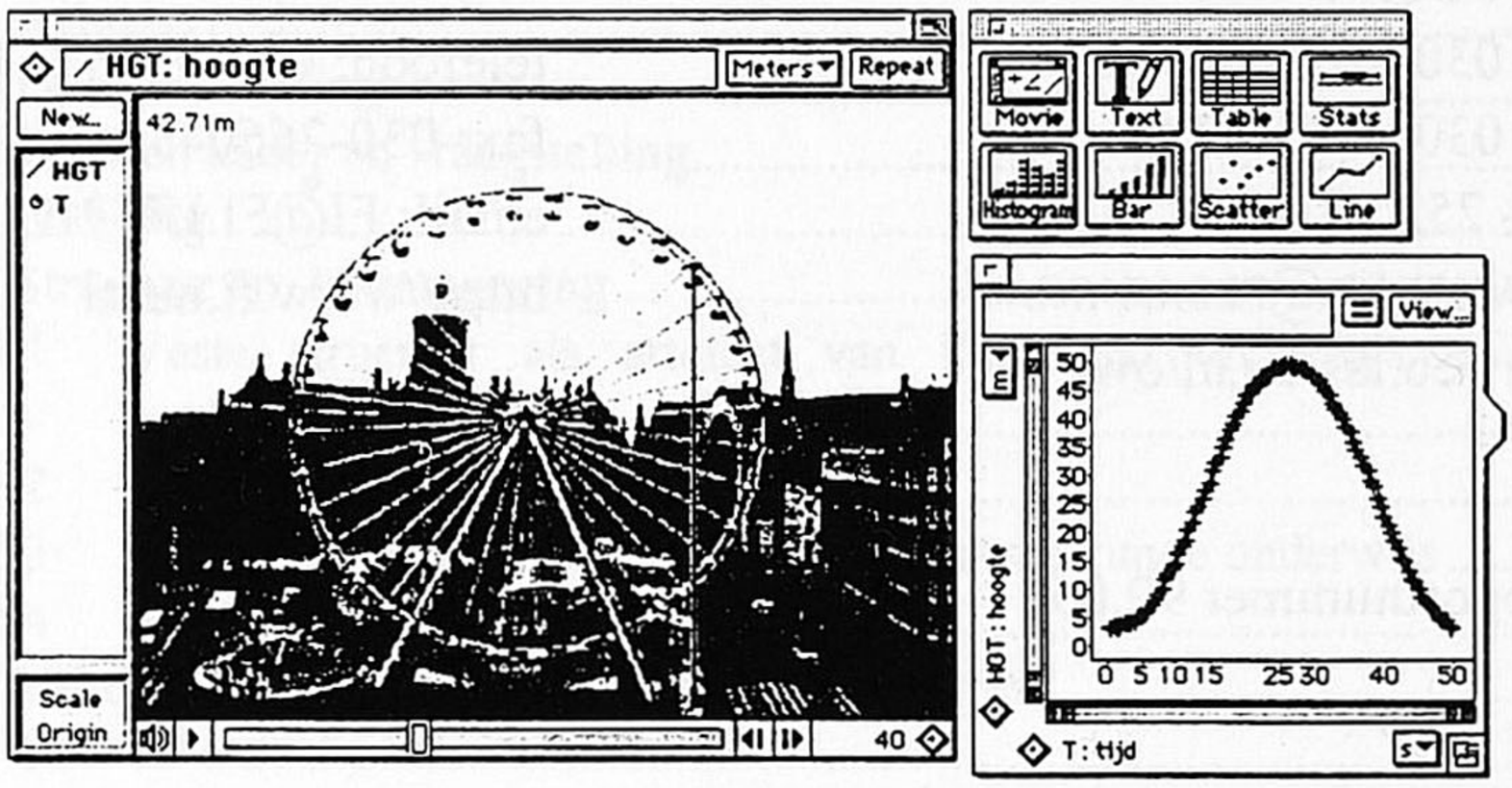
# Grafieken leren met de computer




Gellof Kanselaar
Frans van Galen
Hanneke Beemer
Gijsbert Erkens
Koeno Gravemeijer

Freudenthal Instituut

Instituut voor OnderwijsResearch

Universiteit Utrecht

Onderwijskunde
ISOR/Instituut voor Onderwijsresearch
Universiteit Utrecht
Heidelberglaan 2
3584 CS Utrecht
telefoon: 030-2611611
telefoon: 030 - 253 49 40
fax: 030 - 253 23 52
email: OWKSECR@FSS.UU.NL
http://eduweb.fss.uu.nl/owk

Freudenthal Instituut
Universiteit Utrecht
Tiberdreef 4
3561 GG Utrecht

telefoon: 030 – 2611611
fax: 030-2660430
email: FI@FI.UU.NL
http://www.fi.uu.nl

ISOR-rapportnummer 99.05

ISSN 0924-0217
ISBN 90-6709-034-4

NWO-project 575-33-002
"Een realistische benadering van leerprincipes in een ICT-leeromgeving".

Druk: Brouwer Uithof B.V. - Utrecht

# Inhoudsopgave

# Woord vooraf

In dit rapport wordt verslag gedaan van het onderzoek naar "Een realistische benadering van leerprincipes in een ICT-leeromgeving". Dit project is gesubsidieerd door de NWO onder nummer NWO 575-33-002.
Het gerapporteerde onderzoek betreft een in opzet complex project waaraan veel mensen hebben bijdgedragen. Op de eerste plaats hebben de leerlingen en de docenten van de twee betrokken scholen (Herman Jordan Montessorilyceum in Zeist en het Cals-college uit Nieuwegein) op een uitstekende manier meegewerkt, terwijl er 8 videocamera's en microfoons in de klas stonden.
Naast de auteurs van dit rapport zijn ook anderen betrokken geweest bij dit project. Zo hebben prof. Dr. J. de Lange en Monica Wijers geadviseerd bij de opzet van het onderzoek en hebben verschillende medewerkers van het Freudenthal Instituut bijgedragen aan de evaluatie over de eerste twee ronden van het onderzoek in een 24-uurs conferentie. Mieke Abels heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de constructie en beoordeling van de taken, terwijl Parul Sleegers alle protocollen uit de derde ronde mee heeft gescoord.
De dagelijkse projectleiding tijdens de uitvoering van het project was in handen van Hanneke Beemer. De rapportage is door verschillende personen gedaan. De hoofdstukken 4, 5 en 7 zijn vooral van de hand van Frans van Galen, hoofdstuk 3 en deels 4 van Hanneke Beemer, hoofdstuk 2 en 6 van Gellof Kanselaar en hoofdstuk 8 van Gijsbert Erkens. Koeno Gravemeijer heeft op alle onderdelen een essentiële bijdrage geleverd in het wetenschappelijk doordenken van het project.

Dit project is een samenwerking geweest tussen personen met een verschillende wetenschappelijke achtergrond. De twee invalshoeken zijn in dit rapport terug te vinden op een aantal plaatsen. Het betreft hier een onderwijspsychologische en vakdidactische invalshoek. Twee opvallende zaken zijn hierbij te noemen. Op de eerste plaats de combinatie van ontwikkelingsonderzoek en het variërend experiment. Dit leidde tot een variërend ontwikkelingsonderzoek Op hetzelfde moment in de tijd werden twee condities van de taken (meer en minder structuur) vergeleken terwijl in de tijd na elkaar de taken op grond van de ervaringen uit de voorafgaande ronde werden verbeterd. Op de tweede plaats zijn er twee verschillende analyses op het videomateriaal en de protocollen uitgevoerd. De ene analyse is een vakdidactisch, inhoudelijke en meer interpretatieve manier van verwerken van de protocollen (zie hoofdstuk 7). De andere analyse is een gestructureerde vorm van protocolanalyse die de fasering van probleemoplossen alszodanig beschrijft (zie hoofstuk 8). Deze combinatie van verschillende invalshoeken hebben wij als vruchtbaar ervaren en heeft o.i. ook positief bijgedragen aan het eindproduct.
Utrecht, mei 1999
Gellof Kanselaar, Frans van Galen, Hanneke Beemer, Gijsbert Erkens, Koeno Gravemeijer

# Figuren

# Tabellen

# Samenvatting

In dit onderzoek wordt beschreven wat het effect is van het bieden van meer of minder structuur in een leeromgeving met ICT op het leerproces van de leerlingen. De leerlingen krijgen een multimediaal pakket aangeboden waarin zij de relaties tussen afstand en tijd of snelheid en tijd in video of animaties moeten relateren aan grafieken waarin dit is afgebeeld. Bij het programma worden opdrachten gemaakt die verschillen in mate waarin zij het gedrag van de leerlingen structureren of sturen. Op basis van deze ervaring wordt in een drietal ronden gekomen tot het ontwerpen van een onderwijsleerpakket. De bedoeling hiervan is dat de leerlingen met deze leergang relatief zelfstandig dit onderdeel van grafieken leren beheersen.

In iedere ronde is de vorm van de opdrachten van het onderwijspakket geoptimaliseerd. Steeds zijn van ieder van de acht tweetallen leerlingen uit het eerste jaar van het vo video-opnamen gemaakt. Bovendien zijn per ronde toetsen afgenomen om het leereffect te meten. In de derde ronde is het video-materiaal op twee manieren geanalyseerd: a) een vakinhoudelijke, interpretatieve manier en b) een gestructureerde manier op basis van verbatim protocollen van de video's.

De belangrijkste conclusies zijn:

Het blijkt dat de leerlingen met het onderwijspakket voldoende inzicht verwerven in afstand-tijdgrafieken en zelfs enigszins in snelheid-tijdgrafieken op basis van de video's met opdrachten.

We hebben evidentie gevonden voor ons vermoeden dat (te)veel structuur in de vorm van weg-bereidende deelvraagjes ertoe leidt dat deze deelvraagjes als opzichzelfstaande opdrachtjes worden opgevat, zonder dat de samenhang wordt gezien. Eveneens is gebleken dat (te) weinig structuur in de hand werkt dat de leerlingen de opdracht te oppervlakkig opvatten, waardoor de didactische bedoeling niet wordt gerealiseerd.

We hebben positieve ervaringen opgedaan met een alternatieve opdrachtvorm die aan beide problemen tegemoet komt: de vangnetvragen. De leerling krijgt eerst de kernvraag en daarna vragen die controleren of de leerling wel voldoende uitgebreid het probleem heeft geanalyseerd.

Verder blijkt uit onze analyse dat de geïsoleerde danwel oppervlakkige interpretatie van de vragen kan worden gekenschetst als het zich niet "toe-eigenen" van het probleem; de leerlingen spreken in termen van "Ze willen dat we ..." en ze volstaan nogal eens met antwoorden waarvan ze beseffen dat ze onjuist zijn.

Op basis van ons onderzoek komen wij tot de conclusie dat deze houding samenhangt met (a) (het ontbreken van) intrinsieke motivatie enerzijds, en (b) de ideeën die de leerlingen hebben over wat er van hen wordt verwacht. Een eye-opener voor wat dit eerste (ad a) betreft is de MiM-taak rond hardlopen, vooral in contrast met "Starten/Stoppen". Voor wat het tweede (ad b) betreft, werd ons snel duidelijk dat de oorspronkelijke opzet die opzichzelfstaande computertaken in een zuivere vorm wilde bestuderen voorbij ging aan de belangrijke rol die de docent speelt bij het zelfstandig leren.

# 1 GRAFIEKEN LEREN EN ICT

## 1.1 Achtergrond

Onderzoek en theorievorming op het terrein van het constructivisme en 'situated cognition' hebben tot het inzicht geleid dat het overbrengen van wiskundekennis via het uitleggen van regels en definities leidt tot gefragmenteerde en onbegrepen kennis die nauwelijks toepasbaar is. Het alternatief wordt gezocht in onderwijsarrangementen waar het startpunt wordt gekozen in het gebruik van informele kennis in toepassingssituaties. Van daaruit wordt getracht een leerweg (hypothetisch leertraject) te vinden waarlangs de leerling met enige hulp ('guided reinvention') de beoogde kennis kan ontwikkelen. Daarbij wordt gezocht naar krachtige leeromgevingen, dat wil zeggen leeromgevingen waarin zoveel mogelijk relevante hulpbronnen en middelen ter beschikking staan van de leerling. Deze leeromgeving moet de leerling in staat stellen eigen construerende activiteiten te ontwikkelen als basis voor als 'eigen' ervaren inzichtelijke kennis die breed (wendbaar) toepasbaar kan zijn.
Moderne benaderingen van het wiskundeonderwijs, als 'inquiry mathematics' en 'realistisch reken - wiskundeonderwijs', en zoals bepleit in de Amerikaanse 'National Standards for Mathematics Education in Schools' passen binnen dit kader. De domeinspecifieke onderwijstheorie voor realistisch reken-wiskunde onderwijs biedt bovendien richtlijnen voor het ontwerpen van wiskundeonderwijs dat daarbij past.
In de praktijk van het onderwijs botst het principe van het 'maximaliseren van de eigen inbreng' vaak met de eisen die het lesgeven aan een grote groep leerlingen stelt. Dat blijkt duidelijk als we de Nederlandse wiskundemethoden voor de basisvorming op dit punt analyseren. Om de hanteerbaarheid zo groot mogelijk te maken is in alle moderne methoden gekozen voor een vorm die het in principe mogelijk maakt dat leerlingen de teksten en opgaven zelfstandig doorwerken. Daarbij wordt het aan de docent overgelaten om te kiezen welke onderdelen via een klassikale bespreking nader worden toegelicht. Een consequentie van de gekozen opzet is dat open, uitdagende opdrachten in de methoden nauwelijks voorkomen. Bijna altijd wordt gekozen voor het stellen van series korte, vrij gesloten deelvragen (atomiseren van de taak), wat weliswaar tot gevolg heeft dat leerlingen de opgaven met minimale steun van de docent kunnen beantwoorden, maar tegelijkertijd heeft dit tot gevolg dat de eigen inbreng van de leerlingen minimaal blijft.
De inzet van ICT biedt in principe de mogelijkheid om meer ruimte voor eigen inbreng te creëren. Daarbij doelen we met name op courseware die leerlingen de hulpmiddelen ('tools') en simulaties biedt om zelfstandig onderzoek te doen. Een voorbeeld is het programma 'Measurement in Motion', waarmee leerlingen gedigitaliseerde videobeelden van bewegende voorwerpen kunnen analyseren, zoals een auto (optrekken, met constante snelheid rijden, stoppen) het schuitje van een reuzenrad, een schommel. Op eenvoudige wijze kunnen metingen - afstand vanaf een bepaald punt, hoogte t.o.v.

de grond, een bepaalde hoek en dergelijke - in tabellen of in grafieken worden weergeven. Met het programma is het mogelijk dat leerlingen zelfstandig verbanden tussen allerlei variabelen onderzoeken, bijvoorbeeld de relatie tussen afgelegde afstand en tijd, of tussen snelheid en tijd.
In het onderzoeksproject is gekozen is voor dit software pakket 'Measurement in Motion' omdat met dat programma goed te werken is in klas 1 van het vo. In een eventueel vervolgproject kunnen ook vergelijkbare programma's in het onderzoek worden betrokken, zie bijv. Boyd en Rubin (1996).
Het project is bedoeld om te onderzoeken wat de optimale vorm is voor de inzet van dergelijke courseware, met name ten aanzien van de structurering van opgaven. Als uiterste aan de ene kant kan gedacht worden aan zeer open opdrachten waar de leerlingen in twee- of drietallen een aantal lesuren aan besteden, als andere uiterste een gestructureerde opbouw in korte vragen, vergelijkbaar met de vorm in de wiskundeboeken. Vanuit het principe van het 'maximaliseren van de eigen inbreng' is een volledig voorgestructureerde leergang niet gewenst, maar verwacht wordt dat het andere uiterste - een geheel open vraagstelling - bij minstens een deel van de leerlingen ook niet tot de bedoelde leereffecten zal leiden, omdat een dergelijke vorm leidt tot ongerichte en inefficiënte activiteiten. Het onderzoek waarvan hier verslag wordt gedaan wil nagaan in hoeverre het mogelijk is een optimale balans te vinden in de mate van sturing en structurering van de onderwijsleersituatie bij het gebruik maken van het programma Measurement in Motion (MiM). Het doel van het programma is dat leerlingen in de eerste klas van het vo inzicht krijgen in de relatie tussen bewegende objecten (fietsers, auto, reuzenrad, etc.) die in video of in animaties worden gepresenteerd en de symbolisering daarvan in afstand-tijd-grafieken.

## 1.2 Probleemstelling

Onderzocht wordt wat het effect is van het bieden van meer of minder structuur in een leeromgeving met ICT op het leerproces van de leerlingen. De leerlingen krijgen een multimediaal pakket aangeboden waarin zij de relaties tussen afstand en tijd of snelheid en tijd in video of animaties moeten relateren aan grafieken waarin dit is afgebeeld. Bij het programma worden opdrachten gemaakt die verschillen in mate waarin zij het gedrag van de leerlingen structureren of sturen. Op basis van deze ervaring wordt in een drietal ronden gekomen tot het ontwerpen van een onderwijsleerpakket. De bedoeling hiervan is dat de leerlingen met deze leergang relatief zelfstandig dit onderdeel van grafieken leren beheersen.

# 2 THEORETISCH KADER EN VRAAGSTELLING

## 2.1 Inleiding

De inzet van ICT - in de vorm van een exploratieve leeromgeving - biedt in principe de mogelijkheid om meer ruimte voor eigen, construerende activiteit van leerlingen te creëren. Onbekend is echter hoeveel structurering nodig is in de opdrachten. Aan de hand van een te ontwikkelen onderwijspakket rond grafieken zal worden onderzocht wat het effect is van een meer open of meer gestructureerde vorm op het leerproces van de leerlingen en op het leerresultaat.
We maken hierbij een onderscheid tussen 'zelfstandig werken' en 'zelfstandig leren'. Bij zelfstandig leren zijn oriënterende, uitvoerende en regulerende functies overgedragen aan de leerling of aan een groepje leerlingen. Bij zelfstandig werken zijn deze didactische of leerfuncties niet aan de leerling(en) overgedragen maar zitten zij in het materiaal verpakt. Zo kunnen wij bij traditionele leermiddelen spreken van een 'papieren docent' en bij moderne leermiddelen van een 'digitale docent'. Externe sturing kan via deze leermiddelen, denk aan geprogrammeerde instructie, tot in het extreme voortgezet worden.
Het onderzoek dient mede om te bezien in hoeverre samenwerken tussen tweetallen van leerlingen in een meer exploratieve leeromgeving bijdraagt aan het zelfstandig leren. In het hier gerapporteerde onderzoek is het uitgangspunt dat de rol van de docent tijdens het leerproces minimaal is, terwijl de variatie in gestructureerdheid en daarmee in de mate van zelfstandigheid van de leerlingen, aanwezig is in de leermiddelen. Zoals in het vorige hoofstuk is aangegeven maken we hierbij gebruik van het software pakket Measurement in Motion (MiM). In het begeleidende materiaal bestaat de structurering uit de variatie in kernopdrachten en ondersteunende opdrachten bij de MiM-taken.

## 2.2 Structuur en leeromgeving

De vraag naar de optimale structurering van het onderwijsaanbod in een onderwijsleersituatie is zo oud als het onderwijs zelf.
Voor 1960 kunnen we twee tegengestelde opvattingen onderscheiden. De ene is de opvatting van de Gestaltpsychologie die als uitgangspunt had dat de kleinste leereenheid een betekenisvol geheel moest zijn. Een voorbeeld hiervan is de globaalmethode bij het leren lezen, die uitgaat van hele woorden en zelfs zinnetjes bij het leren lezen. Daartegenover staat het behaviorisme met de opvatting dat het aanbod moet bestaan uit een aaneenschakeling van elementaire stapjes. Het voorbeeld hiervan is de geprogrammeerde instructie.
Met de opkomst van de cognitieve psychologie vanaf de zestiger jaren werd de opvatting dominant waarin de opbouw van de leerstof en ook de daaraan gekoppelde cognitieve representatie gezien werd als een complexe netwerkstructuur, die gedeeltelijk

hiërarchisch georganiseerd is. Een voorbeeld hiervan is de manier waarop tekstbestudering beschreven is in het model van Kintsch en Van Dijk (1978). Het begrijpen van een tekst vereist analyse van de tekst op micro-, meso- en macroniveau van de tekst. In toenemende mate ontstond rond 1980 het idee dat bij het verwerken van complexer gestructureerde informatie metacognitieve activiteiten als planning, monitoring, reflectie en evaluatie, zeer belangrijk zijn voor het resultaat.
Vanaf 1985 ontstond er kritiek op een te eenzijdige benadering van kennis in de cognitieve psychologie. Kennis werd gezien als "an integral self-sufficient substance, theoretically independent of the situations in which it is learned and used" (Brown, Collins, & Duguid, 1989, p. 32) Met de komst van het socio-constructivisme wordt leren meer gezien als de co-constructie van kennis en betekenistoekenning aan gebeurtenissen en verschijnselen in authentieke situaties. In termen van DeCorte: er is een vrij ruime consensus over de volgende definitie van leren: "het is een constructief, cumulatief, zelf gereguleerd, doelgericht, gesitueerd, collaboratief en individueel verschillend proces van kennisverwerving, betekenisgeving en vaardigheidsontwikkeling." (1998, p. 150)
Met deze omschrijving is tevens aangeven dat het aantal samenhangende kenmerken van gewenste leerprocessen zeer complex is geworden. Het belang van een goede inrichting van de leersituatie om te komen tot constructieve leeractiviteiten is hiermee echter ook toegenomen. Salomon (1998, p. 5) zegt: "The socio-cultural approach, on the other hand, emphasizes the social process of participation and changes that take place while students are engaged in collaboration, problem solving, and team-based activities." Met de verandering van een cognitivistische naar een situatieve benadering verandert ook de betekenis van "kennis" en van "leren" "from pertaining to individual *attainments* to being contextually tied, distributed activities of *participation*." (ibid.)
Bij deze verandering passen ook onderwijsvormen als probleemgestuurd onderwijs, project gebaseerd onderwijs, "case based" leren en "anchored instruction", alhoewel deze niet steeds even sterk gebaseerd zijn op de epistemologische opvattingen van het constructivisme.
Als omschrijving van de onderwijsleersituatie wordt ook het begrip "krachtige leeromgeving" gebruikt. "Zulke leeromgevingen laten enerzijds voldoende ruimte voor het zelfstandig exploreren van leertaken en projecten in wisselwerking met medeleerlingen, maar bieden anderzijds voldoende systematische begeleiding rekening houdend met individuele mogelijkheden en behoeften van elke leerling." (DeCorte, 1998, p. 148) Het gebruik van nieuwe media staat in dergelijke krachtige leeromgevingen meestal vrij centraal.
De structurering van de leersituatie heeft daarbij minder betrekking op de structuur van de te leren inhoud als wel op de instructie voor de taakuitvoering.

### *2.2.1 Vaste structuur als artefact van klassikaal onderwijs en papieren methodes*

Om het klassikale onderwijs voor de docent beheersbaar te maken worden methoden ontwikkeld voor de verschillende vakken in het onderwijs. De belangrijkste activiteiten van een ontwikkelaar zijn het selecteren, segmenteren en sequentieren van de on-

derdelen uit het vakgebied die aan de orde gesteld dienen te worden. Daar een methode in het verleden op papier werd uitgegeven ontstond er een product waarin het denken van de ontwikkelaar gestold is. Met andere woorden, in een papieren methode ligt de structuur zowel wat inhoud als wat opdrachten betreft relatief vast. De docent heeft wel de vrijheid om van de gegeven inhoudelijke structuur en opdrachten af te wijken, maar vanwege de hoeveelheid extra werk die dit met zich meebrengt, leidt deze mogelijkheid voornamelijk tot het weglaten van onderdelen.

### *2.2.2 Digitale didactiek en structuur*

Met de komst van de digitale techniek wordt het mogelijk het onderwijsleerproces op een meer interactieve manier te laten verlopen. Door de aanwezigheid van grote hoeveelheden digitaal opgeslagen informatie, manieren van zoeken en ordenen van deze informatie en door (context specifieke) hulp te bieden door de computer aan de leerling, is het mogelijk de leerling meer probleem gestuurd individueel of in kleine groepjes te laten werken. Salomon (1998, 4) zegt hierover: "technology thus comes to *shape*, not just *enable* the design of constructivist learning environments". Door de digitale techniek is de structurering van de inhoud niet meer lineair zoals bij drukwerk op papier, maar van ongestructureerd (vrije tekst zoeken) tot meer netwerk(web)achtig georganiseerd via allerlei aangebrachte of aan te brengen koppelingen. Degene die hierin ver gaat is Rand Spiro in zijn Cognitive Flexibility Theory (1992). Hij spreekt van de wenselijkheid om het kennislandschap kriskras te doorkruisen om bij "ill-structured" domeinen een flexibele cognitieve representatie op te bouwen die wendbaar gebruikt kan worden bij bijv. medische diagnostiek.
De mogelijkheid om het betreffende domein op een complex gestructureerde manier aan te bieden zo dat de leerling er op zijn eigen manier doorheen kan gaan ("browsen" of zoeken) heeft ook het risico van "getting lost in hyperspace". "Scaffolding" (het in het begin bij een taak veel steun bieden en de steigers daarna langzaam afbreken) wordt daarom vaak als wenselijk gezien in deze complexe leeromgeving.

### *2.2.3 Domeinspecificiteit en structuur: reken-wiskunde onderwijs*

Het reken-wiskunde domein is een goed gestructureerd, gedeeltelijk abstract, symbolisch geformuleerd domein. De opgave voor het onderwijs is vooral om de leerlingen te helpen zich deze symbolische representaties eigen te maken. Het kernprobleem is echter dat deze representaties hun betekenis ontlenen aan een kennisgebied dat nog onbekend is voor de leerlingen. Dit betekent dat de leerlingen zich èn de leerstofinhoud, èn de symbolische representaties tegelijkertijd eigen moeten maken.
Digitale video kan dit proces faciliteren. Met behulp van digitale video kunnen onderwijsleersituaties gecreëerd worden waarin de leerlingen met objecten kunnen manipuleren om het mathematiseren te ondersteunen. In het programma MiM kan zowel met meer schematische beelden (animaties) als met digitale video gewerkt worden. De digitale video vormt hier het startpunt voor het mathematiseren van alledaagse ervaringen met behulp van de mathematische representaties in bijvoorbeeld afstand-tijd grafieken.

Tabel 2.1 Video tussen alledaagse percepties en mathematische representaties[1]

| | alledaagse percepties | digitale video | mathematische representatie |
|---|---|---|---|
| tijd | Tijd is continu, unidirectioneel en niet te stoppen | Tijd is structureel gesegmenteerd en discontinu, maar wordt bij afspelen als continu ervaren. Tijd is controleerbaar: voor-uit, achteruit, slow motion, etc. | Tijd kan discreet en/of continu gerepresenteerd worden. Tijd kan expliciet gerepresenteerd worden als bijv. een as in een grafiek. |
| ruimte | Ruimte is 3D | Ruimte is 3D die in twee dimensies wordt afgebeeld. | Representaties worden in een 2D ruimte geconstrueerd. |
| object | Objecten nemen 3 dimensionale ruimte in. | Objecten nemen ruimte in als deel van het scherm, van een frame. | Objecten kunnen als icons afgebeeld worden maar ook als een punt die geen ruimte inneemt. |
| schaal | Onbewust veranderen we de schaal steeds, o.a. door verschillende vergelijkingsobjecten te kiezen. | We kunnen een schaal construeren als we een object in de video hebben met een kenmerkende grootte. | Een schaal kan wel of niet verschaft zijn. In minder formele grafieken is hij vaak afwezig. |
| overige | Alledaagse ervaringen van snelheid zijn vaak dramatischer dan lengte of tijd. | Video is bekend, maar in alledaagse situaties wordt dit vaak passief ondergaan. | Leerlingen worden beïnvloed door de schoolse normen van wat een goede mathematische representatie is. |

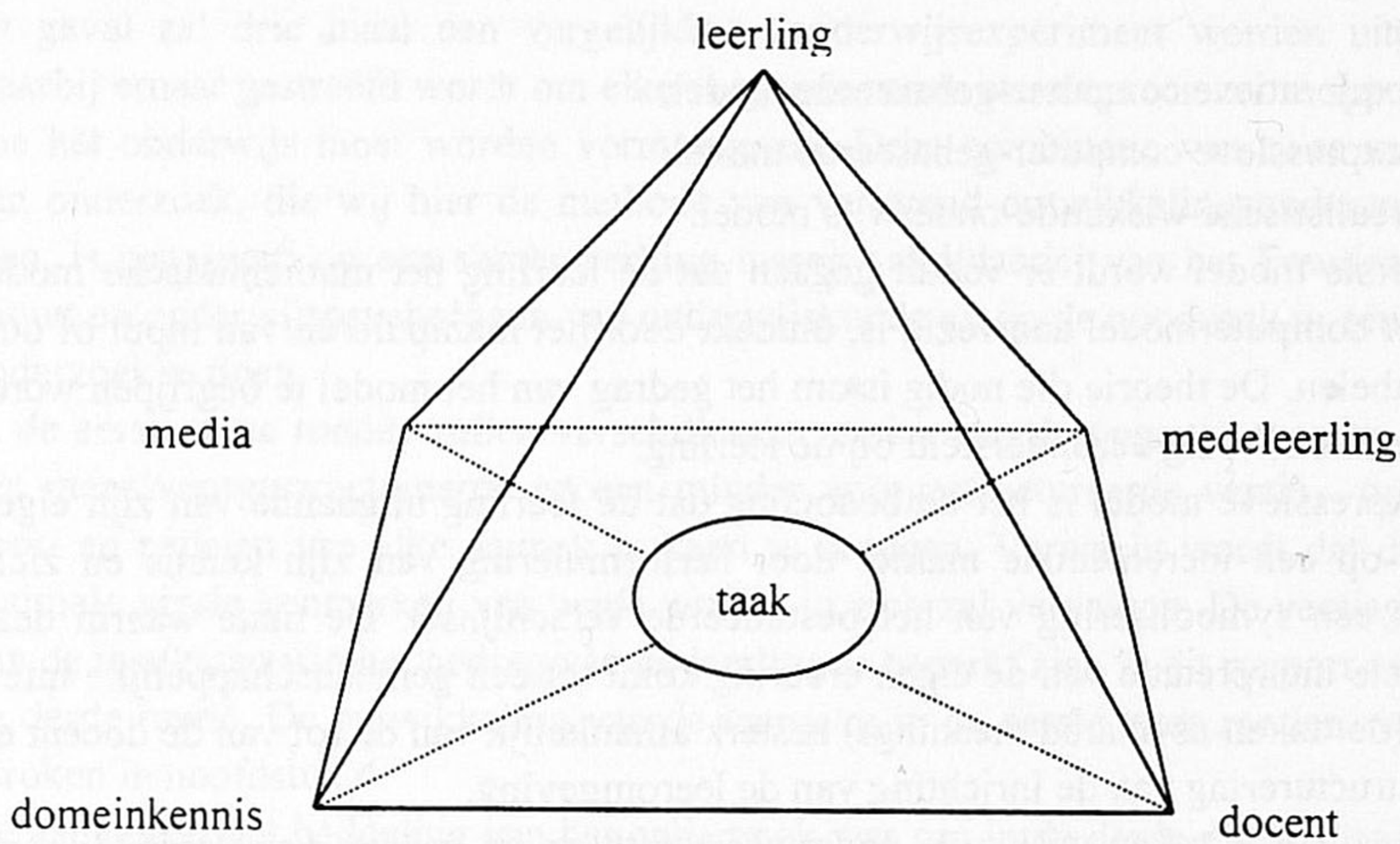
In Tabel 2.1 is aangegeven dat er een duidelijk verschil zit tussen de twee dimensionale weergave op een scherm en de werkelijkheid, maar ook dat de digitale techniek extra mogelijkheden biedt in het "zichtbaar" maken van de tijd en het meten van afstanden gekoppeld aan tijden eenvoudig maakt. Juist voor het leren van de mathematische weergave in tijd-afstand grafieken van bewegende voorwerpen of personen kan dit behulpzaam zijn.
De structuurkenmerken van digitale video en de mogelijkheden ermee te manipuleren kunnen een goede brug vormen tussen de werkelijkheid en de mathematische representatie.

### *2.2.4 Structuur nader uitgewerkt*

In het onderwijs wordt vaak uitgegaan van de z.g. didactische driehoek. De drie hoeken worden gevormd door de docent, de leerling en de leerstof. Het nadeel van dit

[1] *Ontleend aan Boyd en Rubin (1996)*

model is, dat de didactische functies (functies die het onderwijsleerproces initiëren, onderhouden en evalueren) alleen aan de docent toegeschreven worden. Didactisch functies worden echter door verschillende agenten of actoren in de onderwijsleersituatie gerealiseerd. De mate waarin leermiddelen feedback geven, een medeleerling hulp biedt of de domeinkennis aangepast wordt aan de voorkennis van de leerling, draagt bij aan het realiseren van de didactische functies in het onderwijsleerproces. Bovendien kan de leerling ook door metacognitieve sturing en zelfevaluatie een belangrijke bijdrage leveren aan de sturing van zijn leerprocessen.




Figuur 2.1 Didactische vijfhoek

In Figuur 2.1 kunnen zo alle vijf de componenten in het onderwijsleerproces bijdragen aan de mate waarin de taak in een meer of minder gestructureerde leeromgeving uitgevoerd wordt.
De taak in het hier beschreven onderzoek betreft het domein afstand-tijd grafieken. De leerlingen interpreteren en maken grafieken op basis van realistische voorstellingen of animaties. De voorstellingen zullen verschillen in complexiteit en weergave. Nagegaan zal worden in hoeverre complexiteit van de weergave en mate van realistisch zijn invloed heeft op de mate van structuur die dit de leerling biedt.
Bij media zal zowel gebruik worden gemaakt van de computer met video en animaties en gepresenteerde grafieken als van schriftelijk materiaal waarin de taken met opdrachten zullen staan. De variatie in structuur zal hier met name bestaan uit het meer of minder gedetailleerd zijn van de aanwijzingen en uitleg bij de taak.
De taken zullen uitgevoerd worden in tweetallen van leerlingen. Het samenwerkingsproces zal onderzocht worden naar de mate waarin de samenwerking symmetrisch is in de bijdragen aan het probleemoplossen.

De rol van de docent wordt in het onderzoek vervuld door een onderzoekster. Daar het onderzoek zich vooral richt op de mate van de structuur die de media en de medeleerling bieden, zal de rol van de "docent" in eerste instantie beperkt zijn. De reden hiervoor is dat het onderzoek zich op een leeromgeving richt waarin het zelfstandig leren en werken van de leerlingen centraal staat.

## 2.3 Vakdidactische opvattingen over symboliseren

In het gebruik van modelsituaties in het wiskundeonderwijs kunnen we in navolging van Doerr (1995) en Gravemeijer e.a. (in druk) drie didactische benaderingen onderscheiden:

- de exploratieve computer-gebaseerde model;
- het expressieve computer-gebaseerde model;
- het realistische wiskunde-onderwijs model.

In het eerste model wordt er vanuit gegaan dat de leerling het mathematische model dat in het computermodel aanwezig is, ontdekt door het manipuleren van input of output variabelen. De theorie die nodig is om het gedrag van het model te begrijpen wordt grotendeels aanwezig verondersteld bij de leerling.

In het expressieve model is het de bedoeling dat de leerling uitgaande van zijn eigen ervaring op een incrementele manier door herformulering van zijn kennis en zicht komt tot een symbolisering van het bestudeerde verschijnsel. De mate waarin deze individuele interpretatie van de eigen ervaring komt tot een gemeenschappelijke interpretatie (de 'taken-as-shared meaning') is sterk afhankelijk van de rol van de docent en de voorstructurering van de inrichting van de leeromgeving.

Bij het realistisch reken-wiskunde onderwijs wordt er uit gegaan van "guided reinvention". Dit wil zeggen dat de individuele ontwikkeling van het proces van mathematiseren mede onder begeleiding van de docent een proces van herontdekking wordt van wiskundige symboliseringen zoals deze in het verleden zijn bedacht. De voorstructurering van de leersituatie wordt hier in een gedachte-experiment van de ontwikkelaar als een hypothetisch leertraject opgezet.

In ons onderzoek sluiten we aan bij de opvatting van realistisch reken-wiskunde onderwijs. Dat wil o.a. zeggen dat de eindproducten van het leerproces bekende vormen van grafieken dienen op te leveren. In de door ons gemaakte leergang is het principe van reinvention beperkt toegepast. Gegeven de beperkte tijd voor de leergang en de beperkte mogelijkheden van het programma MiM om eigen grafische representaties te maken, is het leerproces van de leerlingen te beschouwen als een vorm van probleemoplossen binnen een gegeven (elektronische) probleemruimte. De bedoeling is dat de leerlingen verantwoordelijkheid kunnen nemen voor het probleemoplossen en een eigen inbreng kunnen hebben. De mate waarin hulp nodig is in dit proces van probleemoplossen is een hoofdvraag in dit onderzoek. Wij gebruiken hierbij een procesmodel van probleemoplossen dat bestaat uit drie hoofdcategorieën: de probleemdefinitie fase, de probleemoplosfase en de afhandelingsfase. Bovendien beschouwen wij het uitvoeren van de taken ook als een sociaal proces waarin overlegd wordt over het proces van

symboliseren tussen de leerlingen. Wij veronderstellen dat sociale interactie tussen de leerlingen leidt tot een proces van explicitering en elaboratie bij de taken.

## 2.4 Onderzoeksaanpak

In het onderzoek worden twee benaderingen gevolgd. De ene is de methodologie van ontwikkelingsonderzoek (Treffers 1987, Streefland 1991, Gravemeijer 1994a, 1994b, in press). Een kenmerk daarvan is dat het te geven onderwijs niet volledig vastligt maar mede wordt vormgegeven op basis van de interactie met leerlingen. De andere is meer experimenteel met een opzet waarin steeds twee condities worden vergeleken. In dit geval zal drie maal een vergelijkbaar onderwijsexperiment worden uitgevoerd waarbij ernaar gestreefd wordt om elke volgende ronde steeds preciezer te specificeren hoe het onderwijs moet worden vormgegeven. Deze combinatie van twee methoden van onderzoek, die wij hier de methode van variërend ontwikkelingsonderzoek noemen, is gebaseerd op een samenwerking tussen vakdidactici van het Freudenthal Instituut en onderwijspsychologen van onderwijskunde en op de noodzaak in één jaar dit onderzoek te doen.

In de eerste twee rondes zullen verschillende versies van de opgaven worden getest - een meer voorgestructureerde en een minder voorgestructureerde versie - om zo de voor- en nadelen van elke aanpak in kaart te brengen. Verwacht wordt dat de meest optimale versie kenmerken van beide versies in zich zal verenigen. De verslaglegging van de resultaten van het gedrag van de leerlingen beperkt zich in dit rapport vooral tot de derde ronde. De ontwikkeling van de leergang in de eerste twee ronden wordt besproken in hoofdstuk 4.

De aanvankelijke bedoeling van het onderzoek was om in de derde ronde niet met een meer en een minder gestructureerde versie van de taken te werken, maar slechts met een versie die de meest gewenste mate van structuur zou bieden. Na de twee ronden is na een uitgebreide discussie, ook met experts van buiten het project in een 24-uurs conferentie, besloten twee versies in de derde ronde te handhaven. De ontwikkeling van het onderwijspakket voor de derde ronde wordt in hoofdstuk 5 beschreven.

Het beschreven onderzoek in de derde ronde met twee versies heeft niet tot doel om te toetsen of er verschillen bestaan tussen de twee condities als operationalisaties van twee verschillende theoretische uitgangspunten. De twee versies van de taken (condities) zijn in de derde ronde gebleven omdat er in de tweede ronde zowel voor- als nadelen van meer of minder structuur in de taken blijken. Als nadeel van meer structuur kwam naar voren dat er een atomisering van de aanpak van de taak plaats vond waardoor de leerlingen sterk lokaal bezig waren en de overall-taak (het leren inzien van de relatie tussen het filmpje en de weergave in grafieken) uit het oog verloren. Het nadeel van minder structuur in de taakopdrachten (meer steunopdrachten) was dat de leerlingen te snel tevreden waren met hun antwoorden. Om deze verschillen in de derde ronde verder te onderzoeken zijn de twee condities (versies van de taken) verder verbeterd en worden de verschillen meer in exploratieve dan in toetsende zin onderzocht.

Centraal in het onderzoek staat de analyse van video-opnamen van leerlingen die - in groepjes van twee - aan taken werken. Voor de analyses van de video-opnamen worden twee verschillende benaderingen gekozen.
a) De eerste is een interpretatieve benadering waarin vooral het vakinhoudelijke aspect in het oplosgedrag van de leerlingen wordt geanalyseerd. De methode wordt besproken in hoofdstuk 3 in 3.6.2 en de verwerking van de gegevens met deze meer interpretatieve benadering wordt in hoofdstuk 7 beschreven.
b) In de tweede benadering wordt de analyse gedaan aan de hand van een van te voren gedefinieerd categorieën systeem. Van de videobanden wordt een verbatim protocol gemaakt en de uitspraken worden in het categorieënsysteem gescoord. In hoofdstuk 3 wordt in 3.6.3 dit protocolanalyse systeem besproken. Het systeem is gebaseerd op de hoofdsfasen van het proces van probleemoplossen: probleemdefinitie, oplossen en afhandelen van het antwoord. Het computerprogramma MEPA waarin de scoring en de verwerking van de data plaats vindt, is in dit onderzoeksproject door Erkens ontwikkeld. De resultaten van dit deel van het onderzoek worden in hoofdstuk 8 beschreven,

Naast de ontwikkeling van de taken en de analyse van de gedragingen van de leerlingen, worden ook een drietal toetsen afgenomen. De voortoets, tussentoets en natoets, meten de prestaties van de leerlingen op taken waarin zij gevraagd worden afstand-tijd grafieken te interpreteren en tekenen (zie hoofdstuk 3 voor deze toetsen). Deze toetsen hebben een grote overeenkomst met de z.g. MiM-taken.
Tot slot worden ook de producten, de interpretaties en getekende grafieken van de MiM-taken, van de leerlingen bij de taakuitvoering beoordeeld.

## 2.5 Vraagstellingen

Het doel van het onderzoek is te komen tot meer kennis over de mate van structuur die wenselijk is in een ICT-leeromgeving bij het leren van afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken. Op basis hiervan wordt getracht kennis te verwerven over het ontwerpen van leersituaties waarin de leerling relatief zelfstandig kan leren.
De vragen van het onderzoek zijn:

1 Verwerven leerlingen in een ICT-leeromgeving voldoende inzicht in afstand-tijd grafieken? Hierbij wordt het inzicht zowel bij het interpreteren als het tekenen van grafieken onderzocht. In het reguliere curriculum van het eerste leerjaar is de snelheid-tijd grafiek niet aanwezig. Vanwege het medium (digitale video op de computer) onderzoeken wij ook of leerlingen inzicht in dit type grafiek kunnen verwerven. (Zie hoofdstukken 5, 6 en 7)
2 Hoe en in welke mate heeft meer of minder structuur in de leeromgeving invloed op de leeractiviteiten van leerlingen bij afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken in het eerste leerjaar van het vo? (Zie hoofdstuk 7). Bij de kwaliteit van de leeractiviteiten wordt gekeken naar de aanpak en de diepte of oppervlakkigheid van deze activiteiten.

3 Als wij het interpreteren en tekenen van grafieken zien als een vorm van probleemoplossen, is de onderzoeksvraag: hoe verloopt het probleemoplossen in deze leeromgeving; in hoeverre is er een verschil in de manier van probleemoplossen in de meer versus de minder gestructureerde conditie? (Zie hoofdstuk 7 en 8)
4 In hoeverre heeft de mate van structuur invloed op de samenwerking tussen tweetallen van leerlingen? (Zie hoofdstuk 8)
5 Wat is de rol van de 'docent' in deze ICT-leeromgeving? Gegeven het doel van zelfstandig leren is de rol van de docent zo terug houdend mogelijk gedacht. In hoeverre is het echter efficiënt om de rol van de docent te minimaliseren? (Zie hoofdstuk 8 en 9)

Voor het beoordelen van de mate waarin de leerlingen inzicht verwerven in het werken met grafieken worden naast de video-opnamen ook de prestaties op de toetsen en de beoordelingen van de uitgevoerde taakopdrachten gebruikt.
Bij het probleemoplossen van de taken wordt het materiaal van de videobanden op twee manieren verwerkt. De ene is een vakinhoudelijke interpretatieve analyse (Hoofdstuk 7) en de andere is op basis van gestructureerde protocolanalyse (Hoofdstuk 8). Hier wordt o.a. gekeken naar de hoeveelheid stappen die nodig zijn om de taak uit te voeren; het aantal probleemdefinities dat gebruikt of ontwikkeld wordt; de hoeveelheid tijd die voor de verschillende aspecten van het probleemoplossen nodig is en het aantal herzieningen en herformuleringen dat gebruikt wordt.
Voor de keuze van de taken met grafieken wordt gekeken naar reken-wiskunde methoden in het basisonderwijs en naar de methode Moderne Wiskunde, die op de scholen van het onderzoek wordt gebruikt. Vanwege de voorbeelden in het programma MiM beperken wij ons tot afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken. Snelheid-tijd grafieken komen in principe niet in het eerste leerjaar van het vo aan de orde, terwijl er in de methoden een grotere variatie aan variabelen voor grafieken voorkomt dan alleen afstand-tijd grafieken.
In het volgende hoofdstuk zal de opzet van het onderzoek en het gebruikte computerprogramma Measurement in Motion (MiM) beschreven worden.
Measurement in Motion draait alleen op Apple-computers. Het programma Multimedia Motion (Graham & Glover, 1997) voor Windows is vergelijkbaar, het is minder flexibel te manipuleren voor de ontwerper, maar beter te hanteren voor leerlingen. Dit programma was nog niet beschikbaar toen dit onderzoek werd opgezet. Inmiddels zijn er verschillende andere programma's (o.a. in een Europees projekt het programma Simquest) op de markt gekomen waarin relaties tussen video en grafieken onderzocht kunnen worden.

# 3 ONDERZOEKSOPZET EN METHODEN

## 3.1 Opzet van het onderzoek

Het onderzoek naar de mogelijkheden van het computerprogramma Measurement in Motion (MiM) voor het leren interpreteren en tekenen van afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken is in het eerste leerjaar van het voorgezet onderwijs op twee scholen uitgevoerd van oktober 1997 tot juni 1998. Het doel van het onderzoek is na te gaan in hoeverre leerlingen in staat zijn om relatief zelfstandig de opdrachten bij taken over grafieken uit te voeren. De onderzoeksvraag betreft de mate van structuur die nodig is om leerlingen deze leertaken goed te kunnen laten uitvoeren. Van de opdrachten bij de taken zijn steeds twee versies aanwezig. De ene versie is meer gestructureerd en de andere is minder gestructureerd. De mate van structuur in de taken blijkt uit de hoeveelheid opdrachten per taak en daarmee uit de mate van gedetailleerdheid van de opdrachten. In de meer gestructureerde versie worden de leerlingen door deel- of steunvragen meer bij de hand genomen. In de minder gestructureerde conditie krijgen de leerlingen alleen de zogenaamde kernopdrachten en moeten zij zelf de sub-opdrachten of problemen vinden om de taak uit te voeren.
In het onderzoek zijn drie ronden geweest. De eerste twee ronden waren om de taken die in het MiM-programma gebruikt worden te ontwikkelen en te verbeteren. Een ronde bestaat uit 5 tot 6 taken die gedurende 8 tot 9 lessen gemaakt werden. Dit is inclusief het maken van toetsopdrachten.
In Tabel 3.1 is een overzicht aanwezig van het aantal taken, het aantal tweetallen van leerlingen en het aantal lessen per ronde.

Tabel 3.1 Overzicht van opzet MiM-onderzoek

| Ronde | taken | dyaden | lessen | uren video |
|---|---|---|---|---|
| eerste | 6 | 7 | 9 | 63 |
| tweede | 6 | 8 | 8 | 64 |
| derde | 5 | 7 | 8 | 56 |

In totaal is er ongeveer 183 uren aan video opgenomen. In de eerste twee ronden is dit materiaal gebruikt om de problemen die de leerlingen hadden met de opdrachten te inventariseren. De taken en de instructie werden tussen iedere ronde verbeterd.
Tussen de tweede en de derde ronde is een tweedaagse conferentie gehouden met medewerkers van het Freudenthal Instituut om de resultaten van de eerste twee ronden te bespreken en keuzen bij het ontwikkeltraject voor de derde ronde te bediscussiëren.
In de aanvankelijke onderzoeksopzet waren drie ronden voorzien waarin er een convergentie in mate van gestructureerdheid van de taken was gepland. De derde ronde zou slechts uit één versie van opdrachten bestaan. Tijdens de conferentie is besloten op grond van de ervaringen in de eerste twee ronden om ook in de derde ronde verschil

tussen twee condities in mate van gestructureerdheid te houden. Uit de eerste twee ronden was onvoldoende duidelijk naar voren gekomen hoe een ***optimale*** conditie van voldoende mate van gestructureerdheid eruit moest zien. Te weinig structuur gaf soms een te oppervlakkige uitwerking van de taken en een meer gestructureerde versie had het nadeel dat leerlingen soms te veel op lokaal niveau met de sub-opdrachten bezig waren zonder het doel van de totale taak in het oog te houden.
De twee condities in de derde ronde van het onderzoek verschilden echter niet sterk in de mate van gestructureerdheid. Bij het toetsen van verschillen tussen deze twee condities verwachten we daarom eerder geen dan wel een significant verschil in oplossingsgedrag en prestaties.
De ontwikkeling van het materiaal van de eerste twee ronden en het resultaat van het ontwikkelingsproces wordt beschreven in hoofdstuk 4.

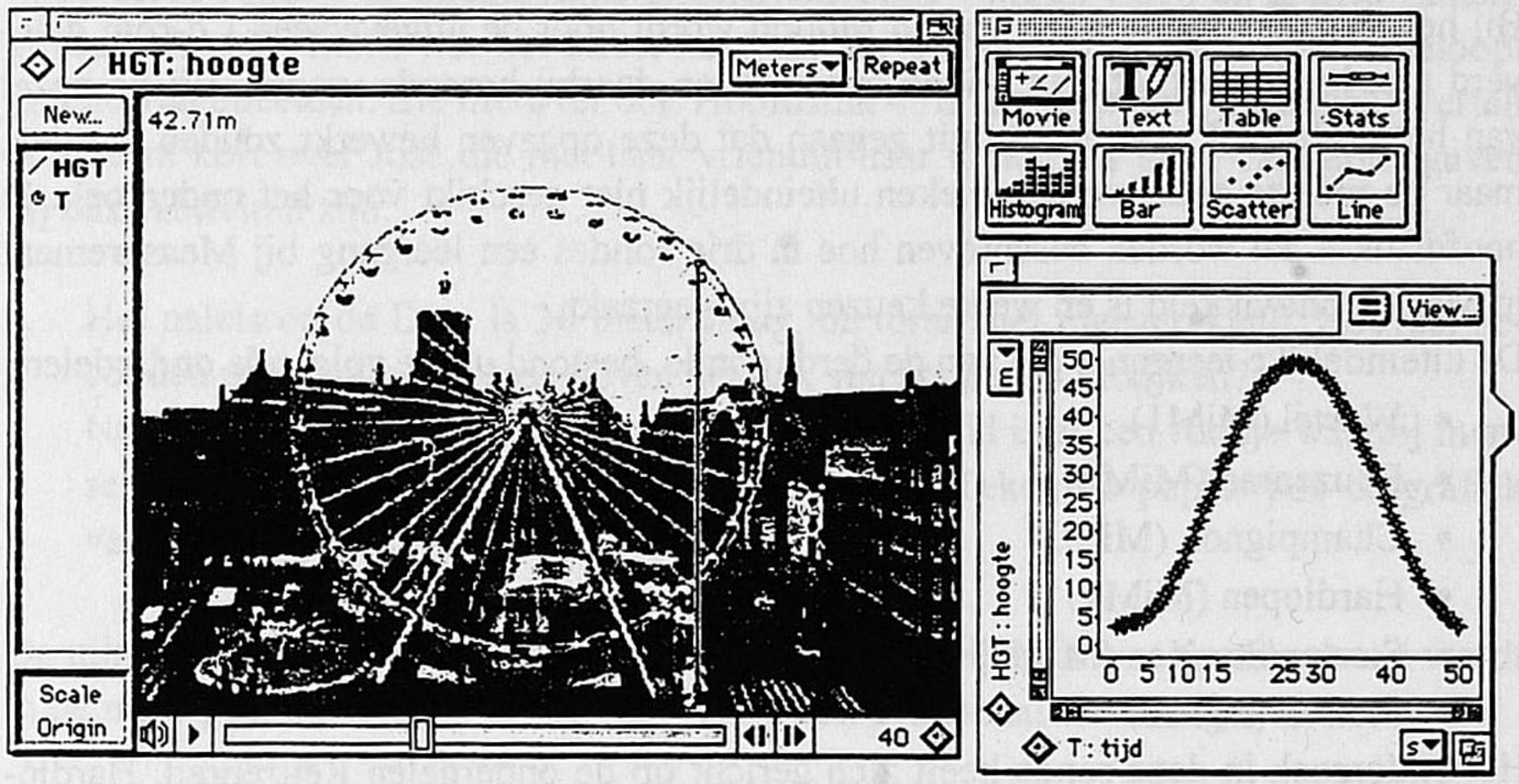
In de verslaggeving in dit rapport richten wij ons vooral op de analyse van de verzamelde data in de derde ronde. De opbouw van het onderzoek in de derde ronde is weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Overzicht van opbouw onderzoek in de derde ronde

| | Groep A:<br>1. Arlette en Bas<br>2. Carla en Diane<br>3. Ellen en Floor | Groep B:<br>1. Gerard en Hans<br>2. Ian en Jörgen<br>3. Kasper en Leo<br>4. Mirte en Nina |
|---|---|---|
| | Voortoets | Voortoets |
| 3 taken:<br>Reuzenrad<br>Champignon<br>Hardlopen | Minder gestructureerde versie:<br>S- | Meer gestructureerde versie:<br>S+ |
| | Tussentoets | Tussentoets |
| Wisseling van conditie tussen de twee groepen | | |
| 2 taken:<br>Starten/Stoppen auto<br>Fietsen | Meer gestructureerde versie:<br>S+ | Minder gestructureerde versie:<br>S- |
| | Eindtoets | Eindtoets |

De toetsen betreffen dezelfde onderwerpen als de taken, nl. het interpreteren en tekenen van afstand-tijd grafieken.
De wisseling van conditie binnen de twee groepen is gedaan om een eventueel leereffect van S- op S+ en omgekeerd te kunnen onderzoeken.

## 3.2 Het programma Measurement in Motion




Figuur 3.1 Schermafbeelding van Reuzenrad in MiM-venster

Figuur 3.1 laat het scherm zien van het programma Measurement in Motion (Cappo, 1992). Het Quicktime-filmpje is in dit geval een opname van een reuzenrad op de Dam in Amsterdam. Onder het filmpje staan knoppen om het filmpje gewoon af te spelen, of om één beeld vooruit of achteruit te gaan. Een specifiek beeldje kan snel worden opgezocht met de schuif. Links naast het filmpje staan verkorte namen voor de metingen die beschikbaar zijn, in dit geval zijn het HGT, de afstand van een schuitje in het reuzenrad tot de grond, en T, de tijd. Wanneer geklikt wordt op zo'n verkorte naam (de term 'variabele' werd niet gebruikt tegenover de leerlingen) verschijnt de volledige naam boven het filmpje en dan kunnen - door slepen vanaf het 'diamantje' links naast de naam naar een van de diamantjes in een grafiekvenster - de waarden naar de grafiek worden overgebracht. In een stilstaand beeld van het Quicktime-filmpje zijn gemeten afstanden zichtbaar als een gekleurde lijn. Als een variabele geselecteerd is kan de waarde van die variabele worden afgelezen. In het gekozen filmbeeld is de hoogte 42.71 meter.

Van de tool-window zijn door de leerlingen alleen de knoppen gebruikt waarmee nieuwe grafieken kunnen worden gemaakt: 'Bar', 'Scatter' en 'Line'. 'Bar' geeft een staafgrafiek, 'Scatter' geeft een grafiek van losse punten, zoals afgebeeld in Figuur 3.2, en 'Line' geeft een grafiek die bijna identiek is aan 'Scatter', maar de punten zijn nu verbonden.

In het onderzoek stonden de vragen en opdrachten bij de Measurement in Motion schermen steeds op papier. Antwoorden en andere teksten typten de leerlingen in de eerste en tweede ronde op de computer; tekeningen van grafieken maakten ze op papier. In de derde ronde hebben leerlingen alle antwoorden op papier geschreven. In hoofdstuk 5 zal op de keus voor werken op papier tegenover werken op de computer worden teruggekomen.

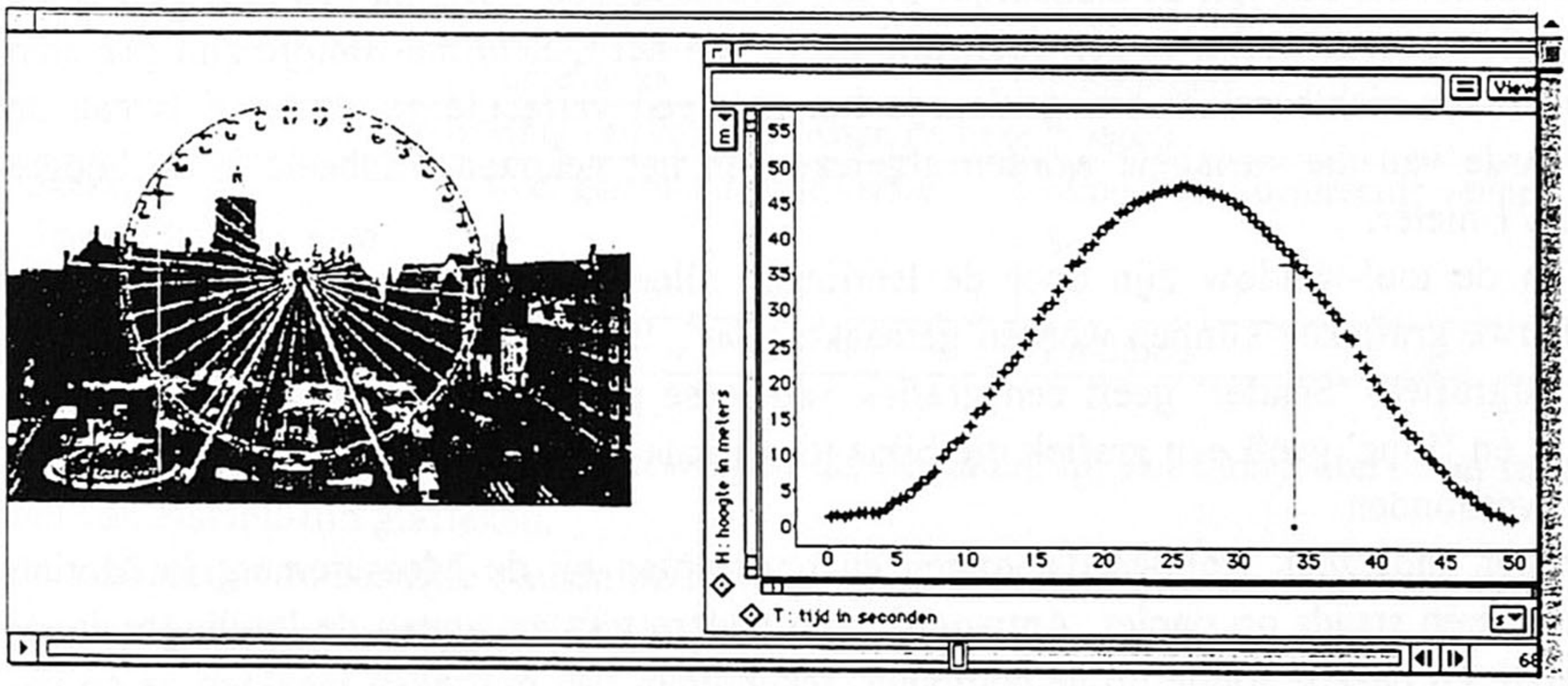
## 3.3 De leergang

Bij het programma Measurement in Motion wordt door de uitgever een Cd-rom geleverd met leerlingactiviteiten: video-opnamen en daarbij horende vragen. Bij de opzet van het onderzoek was er van uit gegaan dat deze opgaven bewerkt zouden worden, maar de meeste onderwerpen bleken uiteindelijk niet geschikt voor het onderzoek. In hoofdstuk 4 zal worden beschreven hoe in drie rondes een leergang bij Measurement in Motion ontwikkeld is en welke keuzen zijn gemaakt.
De uiteindelijke leergang, die van de derde ronde, bestond uit de volgende onderdelen:

- Wortel (MiM1)
- Reuzenrad (MiM2)
- Champignon (MiM3)
- Hardlopen (MiM4)
- Starten/Stoppen (MiM5)
- Fietsen (MiM6)

Het onderzoek in deze ronde heeft zich gericht op de onderdelen Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen. Deze worden hieronder kort beschreven. Daarbij wordt een parafrase van de opgaven gegeven; de precieze teksten zijn te vinden in Bijlage I en II. De minder gestructureerde en meer gestructureerde versies hebben steeds een aantal opgaven gemeen, wij zullen dit de kernopgaven noemen. De minder gestructureerde versie bestaat enkel uit deze kernopgaven; in de leerlingtekst worden het 'onderzoeksvragen' genoemd. In de meer gestructureerde versie worden de kernopgaven steeds voorafgegaan door een aantal andere vragen en opdrachten. In die versie zijn de kernopgaven overigens niet als zodanig in de tekst herkenbaar; zij hebben voor de leerlingen geen speciale status. Starten/Stoppen wijkt op een paar punten af, zie de beschrijving verderop.

### *3.3.1 Reuzenrad*




Figuur 3.2 Reuzenrad met scatter grafiek

Het scherm voor de Reuzenrad-activiteit in de derde ronde is afgebeeld in Figuur 3.2. In de derde ronde - de uiteindelijke onderzoeksronde - waren video en grafiek samengevoegd in één 'film', wat het effect heeft dat de 'hoogtelijn' in de grafiek meeloopt met de videobeelden. Zie hierover ook Hoofdstuk 4. In de klassikale introductie vertelt de docent kort over José die met haar vriendin naar de kermis gaat. De kernopgaven bij deze activiteit zijn:

a. Het paleis op de Dam is 30 meter hoog, de toren niet meegerekend. Hoeveel seconden per rondje kan José boven het dak van het paleis uitkijken?
b. Nadat het reuzenrad een paar rondjes heeft gedraaid is er een rondje waarbij mensen uitstappen en er nieuwe mensen instappen. Teken op papier hoe de grafiek van dat rondje er uit zou kunnen zien.

De minder gestructureerde versie bevat alleen deze twee opgaven. Kernopgave a wordt in de meer gestructureerde versie voorbereid met een aantal steunvragen:

1. In de grafiek kun je bij het rode kruisje zien hoe hoog het bakje boven de grond hangt. Hoe hoog is het bakje na 10 seconden?
2. Hoe hoog is het bakje na 20 seconden? En wanneer is het bakje *weer* zo hoog?
3. Hoe lang duurt een rondje in het reuzenrad?

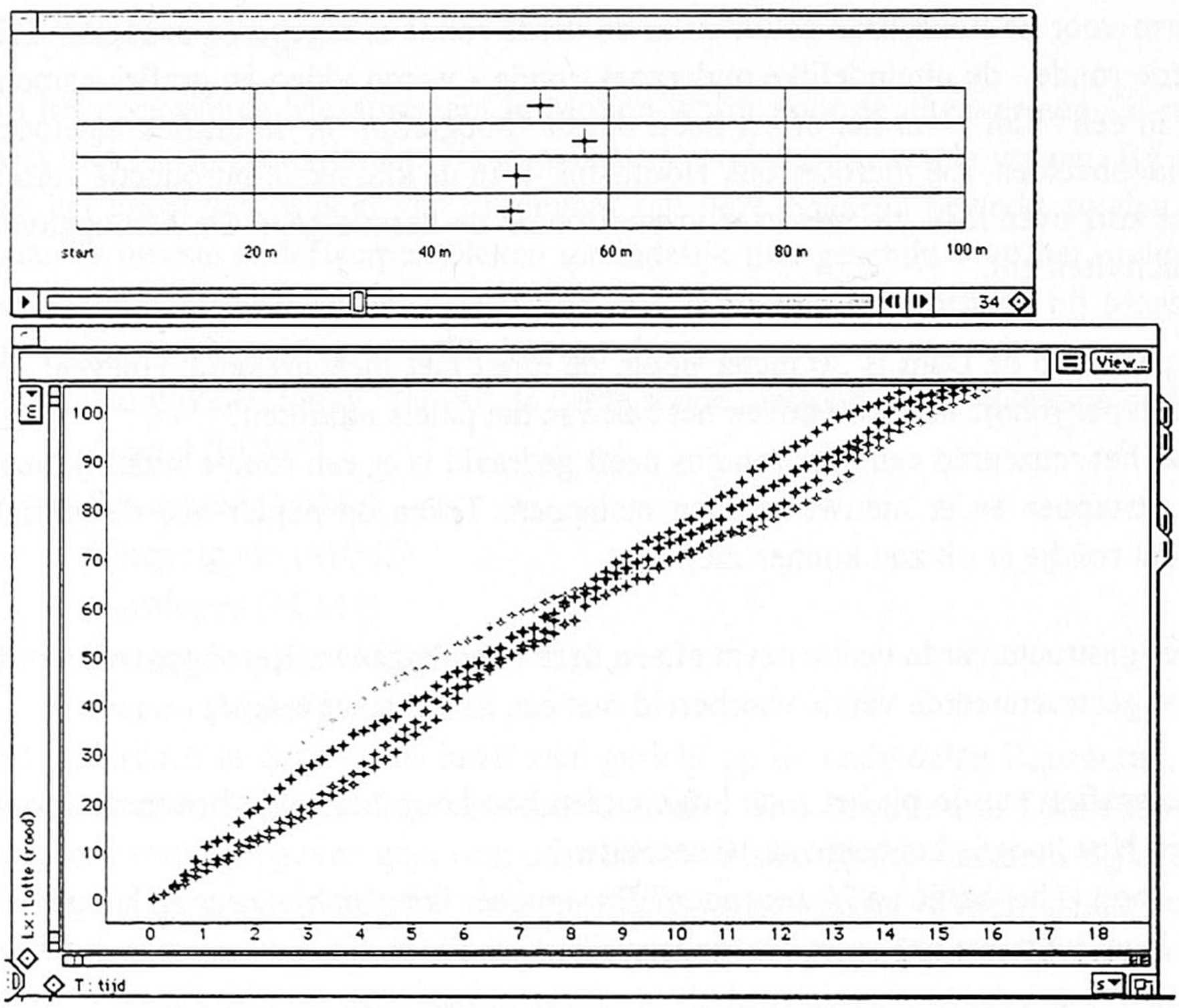
De tekenopdracht - kernopgave b - wordt in de meer gestructureerde versie voorbereid met tekenopdrachten die eenvoudiger zijn:

4. Stel je eens voor dat het reuzenrad zou stoppen als José net helemaal bovenin zit, en dan 30 seconden stil blijft staan. Teken de grafiek bij die situatie.
5. Hoe zou de grafiek er uitzien als José in het bakje stapt en het reuzenrad blijft dan nog 20 seconden stilstaan? Teken die grafiek.

De twee versies verschillen dus van elkaar in die zin dat de meer gestructureerde versie een aantal extra opdrachten heeft die de leerlingen voorbereiden op de hoofdvragen.

### *3.3.2 Hardlopen*

Het scherm voor het eerste deel van Hardlopen is afgebeeld als in Figuur 3.3. De grafiek is voor de duidelijkheid aangepast: op het computerscherm bestonden de lijnen uit identieke punten van verschillende kleur.




Figuur 3.3 Hardlopen met lijngrafieken

Het filmpje toont de hardloopbaan van bovenaf gezien. Het is geen echt filmpje, in die zin dat er geen videobeelden zijn: de bewegende punten worden door het computerprogramma getekend.
De kernopgaven zijn:

a. Hoe passen de grafiek en het filmpje bij elkaar? Bij de grafiek zijn de namen van de meisjes gegeven; het filmpje heeft alleen de baannummers.
b. Geef als coach commentaar op de manier waarop ieder van de meisjes heeft gelopen.

Voor het tweede deel van Hardlopen moet een tweede scherm worden geopend. Hierop staat een grafiek van de wedstrijd van vier jongens. Er is dit keer geen filmpje. De bijbehorende opgave is:

c. Schrijf voor de schoolkrant een verslag over de wedstrijd van de jongens.

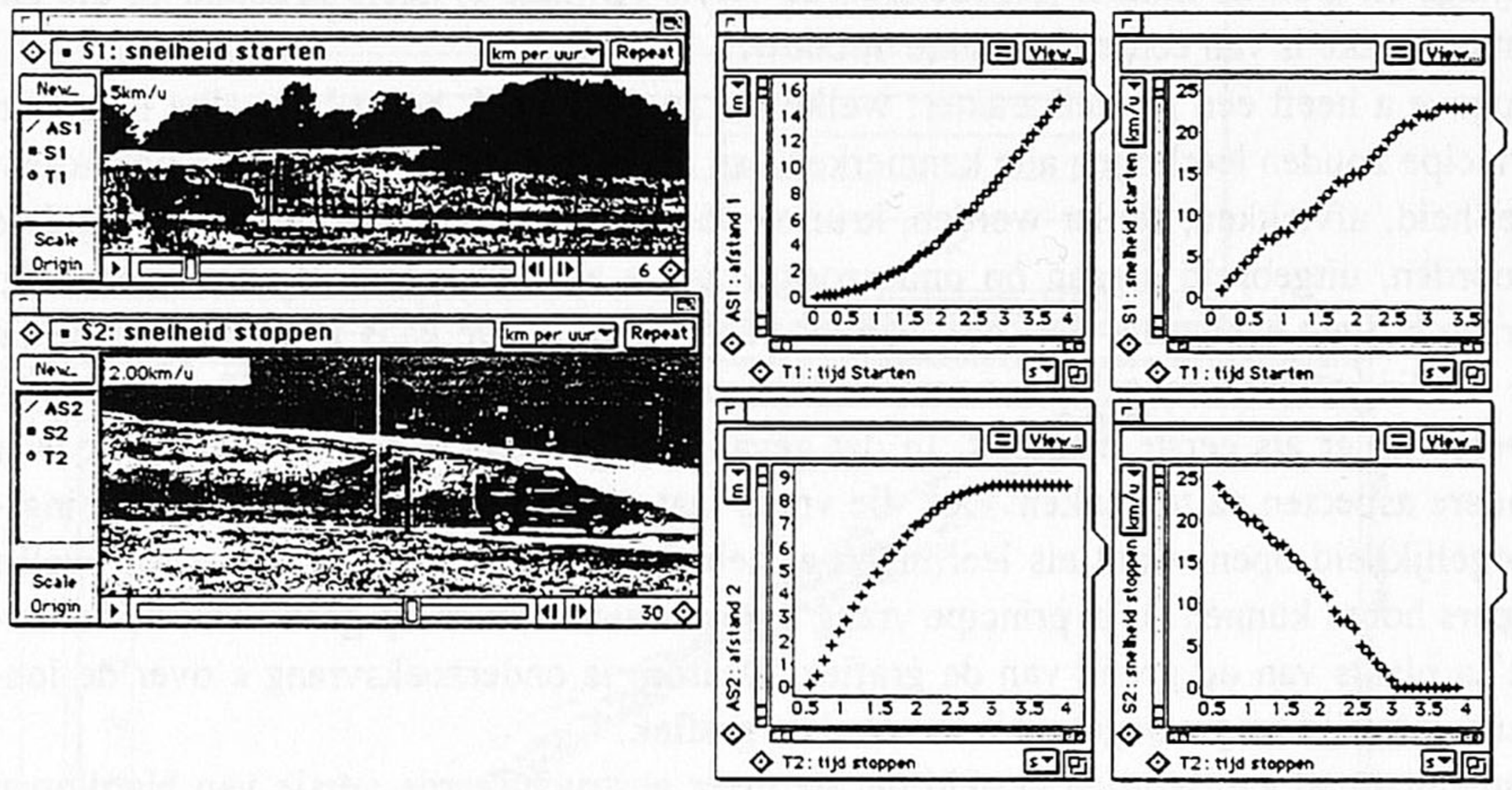
In de meer gestructureerde versie worden deze opdrachten voorbereid met extra vragen en opdrachten, net als in het onderdeel Reuzenrad. Deze vragen zijn te vinden in

Bijlage II. Ook de minder gestructureerde versie (Bijlage I) heeft structuur in die zin dat er sprake is van een zorgvuldige opbouw.
Opgave a heeft een puzzelkarakter: welke lijn in de grafiek hoort bij welke loper? In principe zouden leerlingen alle kenmerken van de grafiek daar al in kunnen betrekken: steilheid, afvlakken, steiler worden, kruisen van de lijnen. Als leerlingen, met andere woorden, uitgebreid ingaan op onderzoeksvraag a zijn de vragen b en c overbodig. Vraag b dient echter als een soort vangnet voor vraag a. De kans is immers groot dat de leerlingen die vraag beantwoorden door maar naar één aspect te kijken, bijvoorbeeld wie er als eerste aankomt. In dat geval dwingt vraag b de leerlingen ook over andere aspecten na te denken. Ook die vraag laat echter nog steeds een ontsnappingsmogelijkheid open, want als leerlingen al hebben uitgezocht welke namen bij welke lopers horen kunnen ze in principe vraag b ook beantwoorden op grond van de animatie in plaats van op grond van de grafiek. Daarom is onderzoeksvraag c over de jongenswedstrijd toegevoegd: nu is er enkel de grafiek.
Samenvattend kan worden gesteld dat de meer gestructureerde versie van Hardlopen leerlingen als het ware op voorhand steun probeert te bieden, terwijl de minder gestructureerde versie vragen heeft die als het ware dienen als een vangnet achteraf. Dat vangnet was niet bedoeld voor het geval de eerste vraag te moeilijk zou zijn, maar voor het geval de eerste vraag niet het didactische effect zou hebben dat met de activiteit werd beoogd.

### *3.3.3 Starten/Stoppen*

Het scherm van Starten/Stoppen heeft twee filmpjes van dezelfde auto. Op het bovenste filmpje rijdt de auto weg, op het onderste filmpje mindert de auto vaart en stopt voor een kruising. De leerlingen moeten zelf de erbij horende grafieken maken. In Figuur 3.4 zijn ze al afgebeeld. Het zijn er vier:

- Afstand ten opzichte van tijd voor de startende auto,
- Snelheid ten opzichte van tijd voor de startende auto,
- Afstand ten opzichte van tijd voor de stoppende auto,
- Snelheid ten opzichte van tijd voor de stoppende auto,




Figuur 3.4 Starten en stoppen met auto

De kernopgaven bij deze activiteit zijn:

a. Onderzoek de grafieken. Je zult zien dat de grafieken een verschillende vorm hebben. Schrijf kort op voor elke grafiek hoe het komt dat de grafiek die vorm heeft.

b. Stel je de volgende situatie voor: een auto gaat rijden, rijdt dan een tijdje met een vaste snelheid van 30 kilometer per uur en stopt daarna weer.
Maak op papier twee grafieken: van *afstand* ten opzichte van tijd en van *snelheid* ten opzichte van tijd. Kies zelf welke je het eerste maakt.
Tip: In de grafieken die jullie maken zijn de precieze getallen niet zo belangrijk. Het gaat vooral om de *vorm* van de grafieken.

Starten/Stoppen is in zoverre afwijkend van Reuzenrad en Hardlopen dat kernopgave a in de meer gestructureerde versie gespreid wordt over vijf verschillende vragen. Zie hiervoor Bijlage II. Starten/Stoppen is ook afwijkend in de zin dat kernopgave b geen aparte voorbereidende vragen heeft. Na de vragen over de computergrafieken volgt direct de opdracht om zelf de grafieken van de startende en weer stoppende auto te tekenen.

## 3.4 Onderzoeksgroep

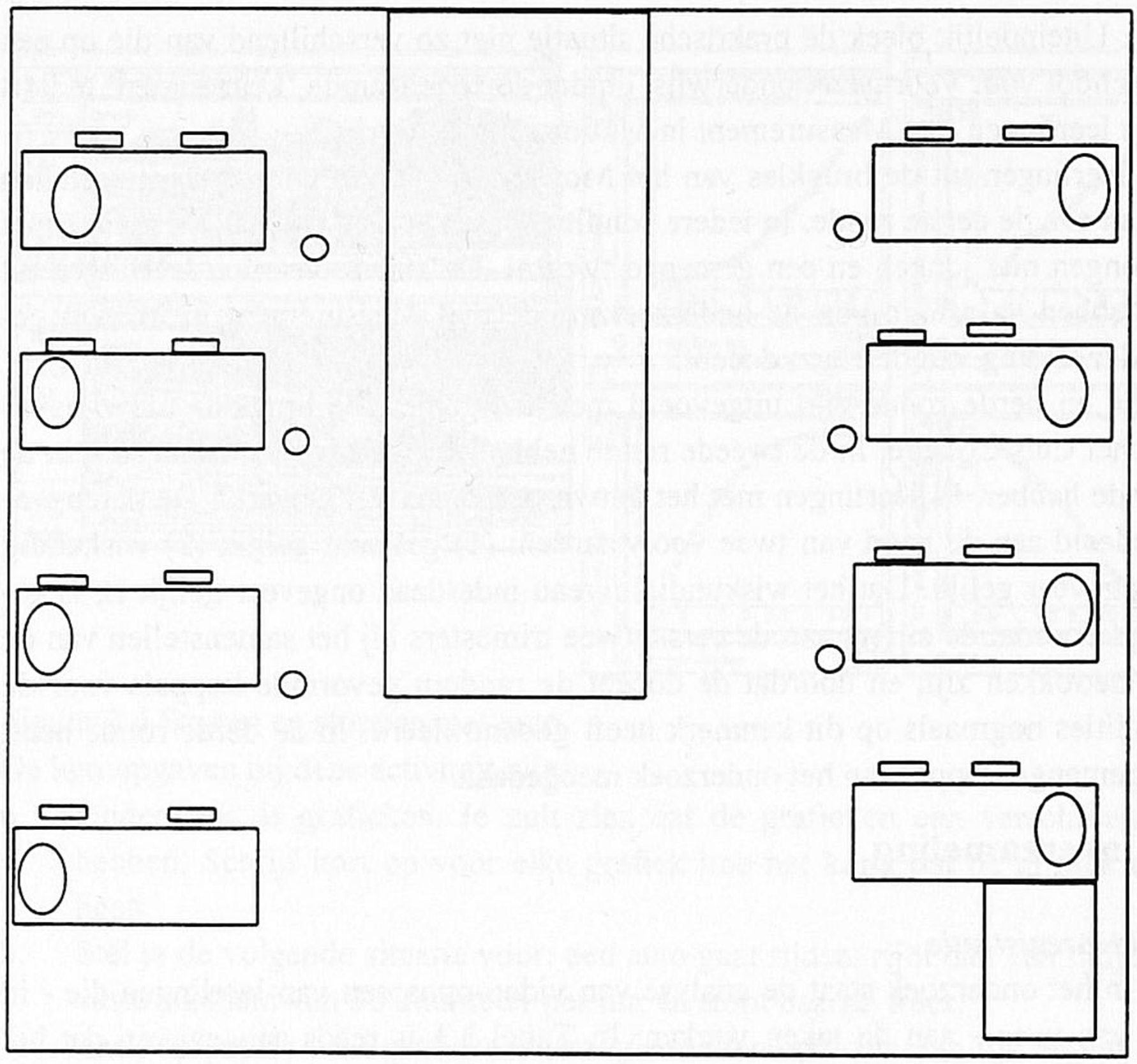
Het onderzoek is uitgevoerd in de brugklassen van twee verschillende scholen. Deze brugklassen hebben het hoofdstuk 'Grafieken' uit de methode Moderne Wiskunde overgeslagen. De leerlingen die mee hebben gedaan aan het experiment, hebben zelfstandig tijdens de lessen gewerkt met het ontworpen lesmateriaal, begeleid door één van de onderzoekers.
Tijdens de eerste ronde is gewerkt met een brugklas van het Herman Jordan Montessori-lyceum voor havo en vwo. Voor deze school was gekozen, omdat de leerlingen daar meer tijd zouden hebben om zelfstandig bezig te zijn met het ontwikkelde onderwijs-

materiaal. Uiteindelijk bleek de praktische situatie niet zo verschillend van die op een gewone school voor voortgezet onderwijs, omdat de zogenaamde 'keuzetijden' te kort waren om leerlingen met Measurement in Motion te laten werken.
Veertien leerlingen uit de brugklas van het Montessori-lyceum hebben in tweetallen meegedaan aan de eerste ronde. In iedere conditie waren er drie tweetallen: meisje met meisje, jongen met jongen en een gemengd tweetal. De andere veertien leerlingen uit de klas hebben na afloop van de onderzoeksronde met Measurement in Motion gewerkt onder leiding van de eigen docent.
De tweede en derde ronde zijn uitgevoerd met een gemengde brugklas mavo-havo-vwo van het Cals College. In de tweede ronde hebben 16 leerlingen meegedaan; in de derde ronde hebben 14 leerlingen met het ontworpen materiaal gewerkt. De paren waren ingedeeld aan de hand van twee voorwaarden: (1) geslacht gelijk; (2) wiskundig niveau ongeveer gelijk. Dat het wiskundig niveau inderdaad ongeveer gelijk is, is gewaarborgd doordat de cijfers van de eerste twee trimesters bij het samenstellen van de groepjes betrokken zijn en doordat de docent de random gevormde koppels voor de twee condities nogmaals op dit kenmerk heeft gecontroleerd. In de derde ronde heeft ook een gemengd koppel aan het onderzoek meegedaan.

## 3.5 Dataverzameling

### *3.5.1 Videoregistratie*

Centraal in het onderzoek staat de analyse van video-opnamen van leerlingen die - in groepjes van twee - aan de taken werken. In Tabel 3.1 is reeds aangegeven dat het aantal uren opgenomen video ongeveer 183 lesuren is. Alleen van de laatste ronde is van al het videomateriaal van drie MiM-taken een verbatim protocol gemaakt. De videobanden zijn op twee manieren geanalyseerd. De ene is interpretatief waarbij het accent ligt op de vakinhoudelijke aspecten in het taakgedrag van de leerlingen. De tweede manier is een scoring op basis van het POATS-systeem in categorieën met het voor het project ontwikkelde computerprogramma MEPA.
Om de video-opnamen te maken maakten we gebruik van acht videocamera's en microfoons op de tafel tussen de tweetallen leerlingen in. De opstelling was zo gekozen dat zowel de gezichten van de leerlingen als het computerscherm op de video kwamen. In Figuur 3.5 is een ovaal getekend voor een computerscherm en een kleine cirkel voor een videocamera.
Voor we analyse van de video's en de protocollen bespreken geven we eerst een overzicht van de toetsen.



Figuur 3.5 Opstelling van tweetallen met videocamera en computerscherm

### *3.5.2 Toetsen*

De toetsen zijn gebaseerd op de leerstof die leerlingen normaal in de brugklas hebben, met daarbij nog de grafieken die bij het begrip snelheid horen. Het toolgebruik is in de tussentoets en de natoets geïntegreerd. In de voortoets is gekeken naar de vaardigheden van de leerlingen in verband met het onderwerp grafieken. De leerlingen zijn niet van te voren getest op het gebruiken van een computer.

De toetsen zijn afgenomen op verschillende momenten tijdens het leerproces. De moeilijkheidsgraad van de toetsen verschilt, maar de onderwerpen die in de toets aan de orde komen verschillen niet veel. Voor het onderzoek is het belangrijk om te weten wat de leerlingen al kennen en kunnen op het gebied van het lezen en tekenen van grafieken, nog voordat ze iets met de MiMopdrachten hebben gedaan. De opdrachten van de toetsen richten zich vooral op de volgende vaardigheden:

- kunnen leerlingen een grafiek aflezen?;

- kunnen leerlingen een grafiek interpreteren, zowel aan de hand van één afgelezen punt als aan de hand van de vorm van de hele grafiek?;
- wat weten leerlingen van een grafiek van afstand en tijd?
- kunnen leerlingen de snelheid globaal uit een grafiek van afstand en tijd aflezen en omschrijven met woorden als sneller, langzamer, snelst?
- wat kunnen leerlingen aflezen uit een grafiek met een groeisituatie?
- kunnen leerlingen een grafiek van snelheid en tijd globaal interpreteren?

**Voortoets (zie Bijlage III)**

De voortoets begint met een temperatuurgrafiek van een zomerse dag. De leerlingen krijgen vragen zoals: "hoeveel graden is het om 16:00 uur?" (aflezen), "wat kan je zeggen over de temperatuur tussen 12:00 uur en 14:00 uur?"(interpreteren) , "In welke maand denk je dat Celine deze grafiek gemaakt heeft?"(interpreteren). Met deze vraag kan gekeken worden welke leerlingen een grafiek precies kunnen aflezen en welke leerlingen de gevonden gegevens uit de grafiek kunnen vertalen naar de werkelijkheid. De volgende vraag gaat over een fietstocht van Gerard. De grafiek is een afstand t.o.v. de tijd-grafiek. De antwoorden moeten gegeven worden in een invulverhaal. Leerlingen moeten tijden en het aantal kilometers invullen. Tevens moeten ze kiezen uit de woorden 'best hard / het hardst / het zachtst' en 'sneller / langzamer'. Door het leerlingenwerk dat op deze manier wordt verkregen, kunnen we beoordelen of leerlingen een grafiek van afstand en tijd kunnen aflezen op zowel de horizontale as als de verticale as, of ze de grafiek kunnen interpreteren en of ze zich er bewust van zijn dat de steilheid van de grafiek iets zegt over de snelheid van de 'verplaatsing'. Dit kan zijn van een fietser, een auto of van de top van iets dat groeit.

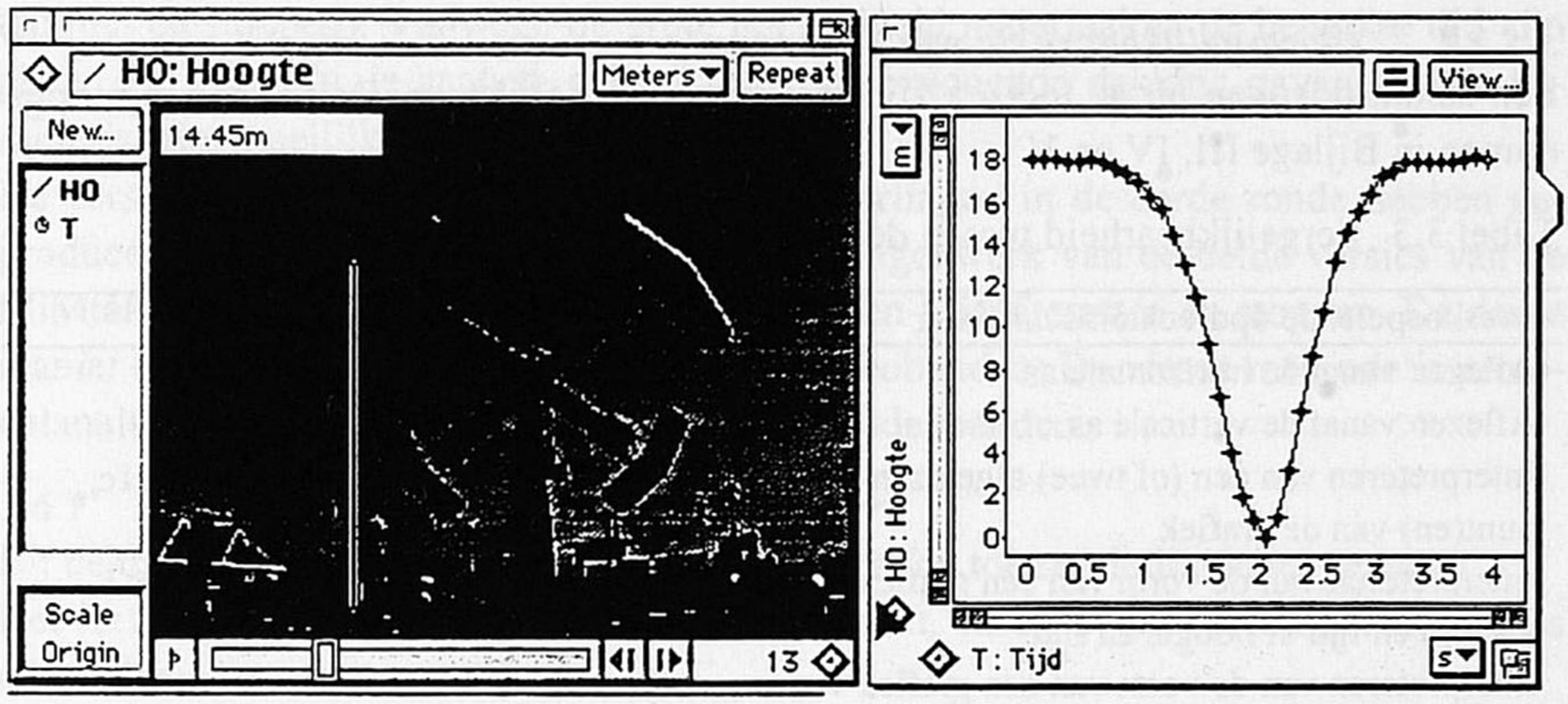
De context van de derde opgave is een boon die op een pak natte watten is gelegd. Elke dag meet Els hoe lang de wortel van de boon is. Dit is in een grafiek uitgezet. De vragen gaan over de lengte van de boon na een aantal dagen, over wanneer de boon het hardst groeit en leerlingen moeten voor het eerst proberen te schatten, te extrapoleren, hoe lang het duurt totdat de wortel van de boon 9 centimeter is. De antwoorden op deze vragen laten zien of leerlingen in staat zijn de grafiek af te lezen, de steilheid van de grafiek als 'het hardst groeien' te interpreteren en of leerlingen een grafiek op een logische wijze kunnen extrapoleren.

Tenslotte gaat de vierde opgave over een grafiek van snelheid en tijd. Stefan en z'n vader gaan met de auto van Nieuwegein naar Amsterdam. De grafiek van snelheid en tijd moeten de leerlingen zelf tekenen. De gegevens staan in een tabel, waarin de tijd en de snelheid is weergegeven. Op ruitjespapier zijn de assen voorgetekend, maar de indeling van de grafiek moeten de leerlingen zelf maken. Nadat de grafiek is getekend, moeten de leerlingen de grafiek interpreteren, door een dialoog te schrijven tussen Stefan en z'n vader. Aan de hand van deze opdracht kan worden bekeken of leerlingen meer kunnen met een grafiek van snelheid en tijd dan alleen het aflezen van gegevens uit de tabel of de grafiek. De grafiek van snelheid en tijd wordt normaal pas in de tweede klas behandeld. De combinatie is uitgeprobeerd, omdat met de computertool

vlot grafieken van zowel afstand en tijd als snelheid en tijd met enkele simpele handelingen gemaakt kunnen worden.

**Tussentoets (zie Bijlage IV)**
De tussentoets test wat de leerlingen tot op dat moment hebben bijgeleerd. De leerlingen weten dat het een kennistoets is die in het eindcijfer niet meetelt. De opgaven zijn, vanwege het testen van het korte-termijn-leereffect, minder direct vergelijkbaar met de voortoets en de natoets, maar meer gericht op de tussenliggende lessen. Vandaar dat in de eerste opgave het reuzenrad nogmaals aan de orde komt. Dit keer moeten de leerlingen eerst de grafiek extrapoleren naar twee rondjes. Ze moeten deze grafiek zelf tekenen. Vervolgens wordt gevraagd of ze de grafiek kunnen tekenen van Mike, die 10 seconden later in is gestapt dan Pieter. Deze grafiek moet in hetzelfde assenstelsel als de eerste grafiek worden getekend. Tenslotte wordt gevraagd wanneer Pieter en Mike even hoog in het reuzenrad zitten en waar Mike het hardst naar beneden is gegaan.
De opgaven zijn wat moeilijker dan in het lesmateriaal. De opdracht van Mike en Pieter laat zien hoe vaardig leerlingen zijn in het interpreteren van grafieken. Het tekenen van de twee rondjes laat zowel zien of leerlingen gegevens goed kunnen aflezen en overnemen en ook of leerlingen in staat zijn de gegeven situatie met bijbehorende grafiek te extrapoleren. De andere vraag laat zien of de leerlingen de steilheid van de grafiek goed interpreteren.
De groei van een blad van een narcis is de context voor de volgende opdracht in de tussentoets. De opgave is vergelijkbaar met de opgave uit de voortoets. De leerlingen moeten gegevens over de lengte en de tijd invullen in een verhaal. Aan het eind moeten ze aangeven waarom ze denken dat het narcisblad langzaam of snel is gegroeid. Ook moeten ze de lengte schatten na 34 dagen, terwijl de grafiek zelf tot 28 dagen gaat (extrapoleren).

**Natoets (zie Bijlage V)**
De natoets is gebaseerd op de voortoets en de tussentoets. Bij de eerste opgave moet de computertool worden gebruikt. De leerlingen zien een filmpje van vier seconden, waarin ze een kermisattractie snel zien ronddraaien:




Figuur 3.6 Typhoon in MiM-scherm

Deze opgave is vergelijkbaar met het reuzenrad. De typhoon draait alleen veel sneller rond en de leerlingen moeten nu aan de hand van een verhaaltje de bijbehorende grafiek van de eerste 33 seconden tekenen, nadat ze eerst opschrijven wat ze allemaal uit de grafiek kunnen aflezen.

De volgende grafiek gaat over een pizzabezorger. Het is een grafiek van tijd en afstand. De grafiek is moeilijker dan voorheen, omdat op de verticale as 'de afstand tot het pizzabedrijf in meters' wordt weergegeven. Hierdoor keert de grafiek terug naar de horizontale as op het moment dat de pizzabezorger weer terug is gekeerd. De leerlingen moeten invullen hoeveel meter de pizzabezorger heeft afgelegd, wat de horizontale stukken in de grafiek betekenen, wanneer hij het hardst reed en hoeveel kilometer per uur de bezorger toen reed. Dit is vergelijkbaar met de laatste opgave van MiM5 auto's. Als laatste onderdeel van deze opgave mogen de leerlingen uitleggen hoe ze de snelheid hebben berekend. Met deze opgave willen we achterhalen welke leerlingen afstand alleen als een stijgende grafiek hebben aangeleerd en daarin volharden. Het aflezen van de grafiek wordt hiermee extra getest.

De volgende opgave is meer als test bedoeld: "de pizzabezorger uit de vorige opgave heeft als hij weggaat 10 pizza's bij zich. Maak en grafiek waarin je laat zien hoeveel pizza's de pizzabezorger gedurende de rit nog in zijn box bij zich heeft. Vul zelf de getallen in langs de assen" Langs de assen stonden al wel de grootheden vermeld: aantal pizza's en tijd. Bij deze opgave wordt het maximale aan interpretatie en combinatie van gegevens gevraagd. Het zou mooi zijn als leerlingen hier discrete sprongen tekenen en / of de tijd gelijk maken aan de stopmomenten van de pizzabezorger uit de vorige grafiek.

Tenslotte is er een vergelijkbare opgave met de voortoets over een situatie met snelheid en tijd. Dit keer een tabel met tijden en snelheden van een trein. De leerlingen moeten zelf de grafiek tekenen en een verhaal schrijven over de treinreis, waarbij ze de begrippen snelheid en tijd moeten gebruiken.

#### *3.5.2.1 De vergelijkbaarheid van de toetsen*

Een aantal opgaven uit de toetsen zijn met elkaar vergelijkbaar. De toetsen zijn opgenomen in Bijlage III, IV en V.

Tabel 3.3 Vergelijkbaarheid tussen de drie toetsen

| overkoepelende opdrachtomschrijving | Opgavenummer |
|---|---|
| Aflezen vanaf de horizontale as | vt1a, vt2a, vt3a |
| Aflezen vanaf de verticale as | vt2d, vt |
| Interpreteren van een (of twee) afgelezen punt(en) van de grafiek | vt1b, vt1c, vt2c, vt2e, vt2g, vt2h, tt1c, tt2b, nt2 |
| Interpreteren van de vorm van een grafiek van afstand en tijd of hoogte en tijd. | vt2c, ntMiM9-2, nt1a, nt1b, nt1c, nt2 |
| Interpreteren van de vorm van een grafiek van snelheid en tijd | vt4b, nt3b |
| Interpreteren van snelheid bij een grafiek van afstand en tijd of groei en tijd | vt2b, vt2f, tt1d, tt2e, nt1d, nt1e, |
| Interpreteren van een groeigrafiek | vt3b, tt2b |
| Extrapoleren van een groeigrafiek | vt3c, tt2f |
| Grafiek tekenen | vt4a, tt1a, tt1b, ntMiM9-3, nt2, nt3a |

vt = voortoets; tt = tussentoets; nt = natoets

In de bovenstaande tabel zijn de opgaven van de toetsen genummerd. Voor de opgaven uit de voortoets staat *vt*, voor de opgaven uit de tussentoets staat *tt* en voor de opgaven uit de natoets staat *nt*. Sommige opgaven vragen meerdere vaardigheden van de leerlingen. Deze vaardigheden zijn uitgesplitst, bijvoorbeeld bij de tweede opgave van de natoets. De leerlingen moeten daar rekening houden met de tijdgegevens uit opgave 1 en ze moeten discrete sprongen tekenen voor het aantal pizza's dat zich in de bak van de pizzacourier bevinden. Ook moeten ze een correcte grafiek tekenen. Deze drie onderdelen staan niet apart in de opgave vermeld, maar zijn wel apart nagekeken.

**Scoringssysteem**

Voor het beoordelen van het leerlingenwerk is tijdens de derde ronde een systeem ontworpen waarmee alle opgaven voor alle leerlingen kunnen worden gescoord. Dit systeem ontstond bij het nakijken van de voortoets en is later toegepast op al het leerlingenwerk. De scoring is een driepuntsschaal: 0 is wel gedaan, maar niet goed; 1 is wel gedaan maar niet helemaal goed; 2 is wel gedaan en goed gedaan; niet gedaan geeft een missing waarde. Dit scoringssysteem is zowel gebruikt bij de drie toetsen als bij de uitwerking van de taakopdrachten (het z.g. leerlingwerk).
Alle gescoorde aspecten hebben per taak een unieke code gekregen.

## 3.6 Analysemethoden

Bij de analyse wordt om pragmatische redenen alleen gebruik gemaakt van het materiaal van de taken MiM2 (reuzenrad), MiM4 (honderd meter hardlopen) en MiM5

(starten en stoppen). Vanwege de grote hoeveelheid materiaal en de beperkte tijd zijn alleen die taken in de analyse gebruikt die een voldoende dekking gaven van de karakteristieke moeilijkheden van dit domein.
De eerste analyse betreft alle toetsen die de leerlingen in de derde ronde hebben geproduceerd. De tweede analyse is van het leerlingenwerk van de beide versies van de MiMtaken: MiM2 reuzenrad, MiM4 hardlopen en MiM5 starten en stoppen. De derde manier is een interpretatieve analyse van de videobanden. De vierde methode is protocolanalyse van de verbatim protocollen van de videobanden.

### *3.6.1 Analyse van het schriftelijke leerlingwerk*

Bij de toetsen hebben de leerlingen allemaal dezelfde toetsen individueel gemaakt.
Het leerlingenwerk is echter in tweetallen gemaakt, en er is met verschillende versies of condities gewerkt.

*De vergelijkbaarheid van de opdrachten uit beide versies*

Bij de taken onderscheiden we kernopdrachten en steunopdrachten. De kernopdrachten zijn in beide versies of condities gelijk, terwijl de steunopdrachten alleen in de meer gestructureerde versie voorkwamen.

*Beoordeling van het leerlingenwerk*

Het leerlingenwerk is met hetzelfde systeem gescoord als bij de toetsen is gebruikt. Alle opdrachten hebben een eigen nummer gekregen. Het eerste cijfer van dit nummer geeft de taak weer. Voor de minder gestructureerde versie en de meer gestructureerde versie zijn verschillende volgnummers gebruikt. De opgaven die hetzelfde zijn in beide versies, zijn exact op dezelfde manier gescoord, maar hebben dus niet hetzelfde volgnummer. Beide versies worden per ingeleverde opdracht volgens onderstaande tabel met elkaar vergeleken.

Tabel 3.4 Codering van opdrachten in leerling werk

| MiM-taak | Minder gestructureerde versie | Meer gestructureerde versie |
|---|---|---|
| Mim2 Reuzenrad | 209 | 205 |
| Mim2 Reuzenrad | 210 | 208 |
| Mim4 Hardlopen | 421 | 410 |
| Mim4 Hardlopen | 422 | 413 |
| Mim4 Hardlopen | 423 | 420 |
| Mim5 Starten/Stoppen | 521a | 503 |
| Mim5 Starten/Stoppen | 521b | 507, 516 |
| Mim5 Starten/Stoppen | 521c | 511 |
| Mim5 Starten/Stoppen | 521d | 514, 516 |
| Mim5 Starten/Stoppen | 522 | 517 |
| Mim5 Starten/Stoppen | 523 | 518 |

### *3.6.2 Procesanalyse: interpretatieve analyse van de protocollen*

De videobanden worden op twee manieren verwerkt. De ene is een meer interpretatieve benadering waarin de vakinhoudelijke aspecten van het oplossen van de problemen worden geanalyseerd. Voor wat betreft deze methodologie kan worden aangesloten bij Cobb en Whitenack (1996). Zij beschrijven een methodologie die gevolgd werd bij de

analyse van opnamen van paren leerlingen in 'grade' 2 over een serie lessen. De analyse vond plaats in drie fasen. Eerst werden episode na episode afzonderlijk geanalyseerd aan de hand van een beperkt aantal geformuleerde thema's. Voorbeelden van deze thema's zijn: 'social norms' in het algemeen; 'social math norms' en 'mathematical practices'. Dit leidde tot een serie locale conclusies en vermoedens die vervolgens op een hoger niveau werden geanalyseerd tot een chronologische beschrijving van (1) de sociale relatie tussen de verschillende paren kinderen en (2) het reken-wiskundig leerproces van elk afzonderlijk kind. Tenslotte werd op basis van de beschrijvingen voor de afzonderlijke paren een samenvattende chronologische beschrijving gemaakt.
Cobb en Whitenack argumenteren dat hun aanpak in overeenstemming is met de 'constant comparative method' van Glaser en Strauss (1967). De analyse van interacties kan worden beschreven als een zigzag proces van vermoedens en weerleggingen.
De door Cobb en Whitenack beschreven analyse-procedure leidt enerzijds tot een beschrijving van de construerende activiteit van leerlingen, en anderzijds tot een beschrijving van de aard van de kennis die leerlingen verwerven.
In onze interpretatieve analyse hebben wij ons laten inspireren door deze methode van Cobb en Whitenack, maar de procedure is enigszins vereenvoudigd vanwege de beperktere variatie in het materiaal en de beperkte tijd voor de analyses. De resultaten hiervan worden beschreven in hoofdstuk 7.

### *3.6.3 Procesanalyse: gestructureerde analyse van de protocollen met MEPA*

De tweede analyse van de videobanden is gebaseerd op verbatim protocollen van de videobanden. Hiervoor is het computerprogramma MEPA ontwikkeld. Binnen dit programma is het mogelijk een categorieënsysteem te definiëren voor de protocollering. Het protocolleringsysteem POATS (Probleemstellen, Oplossen, Afhandelen, Technisch en Sociaal) is ontwikkeld om het proces van probleemoplossen van de verschillende MiM-taken door de leerlingen te kunnen coderen en onderling met elkaar te kunnen vergelijken. Doel van het systeem is belangrijke kenmerken van het gezamenlijk proces van probleemoplossen van de leerlingen in een coderingssysteem te operationaliseren en tussen verschillende tweetallen voor verdere statistische analyse vergelijkbaar te maken. Met het systeem kan een analyse van het proces van probleemoplossen in meerdere protocollen op eenzelfde wijze worden uitgevoerd. Ter onderscheid van de interpretatieve protocol-analyse zullen wij dan ook spreken van de "gestructureerde" protocolanalyse. Hierna wordt het systeem besproken, terwijl de resultaten van de analyse in hoofdstuk 8 worden gegeven.

Wij zijn daarbij vooral geïnteresseerd in de gezamenlijke probleemoplosactiviteiten die de leerlingen ontplooien om de hen gestelde opdrachten trachten op te lossen. Het gaat daarbij zowel om het proces van probleemoplossen als om het proces van samenwerking. In de interpretatieve protocol-analyse staat in dit opzicht de wiskundig-inhoudelijke aanpak van de leerlingen centraal (zie paragraaf 3.6.2). In de gestructureerde protocol-analyse wordt de vraag gesteld in hoeverre de meer of minder gestructureerde taaksituatie bij de leerlingen leidt tot verschillen in probleemoplossen,

verschillen in samenwerking en verschillen in begeleidende activiteiten van de kant van de docent. Hiertoe worden de probleemoplosactiviteiten in de protocollen gecodeerd en naar een drietal fasen of episodes in het proces van probleemoplossen onderscheiden. De protocollen zullen daarbij worden vergeleken naar het aantal verschillende probleemoplosactiviteiten bij de leerlingen in de verschillende condities van taakaanbieding. Er zal verder worden nagegaan of de samenwerking tussen de leerlingen in de verschillende versies van de MiM-taken anders verloopt . En tenslotte zal worden nagegaan of minder of meer structurering in de taak tot een ander type ondersteuning van de kant van de docent aanleiding geeft.

In het POATS-systeem worden uitspraken en handelingen van de leerlingen in het verbatim protocol gecodeerd op een vijftal variabelen. Eenheid van observatie is hierbij een verbale uitspraak of fysieke handeling van één of van beide leerlingen, de docent/onderzoekster of eventueel een andere medeleerling. De protocollering verloopt in twee fasen. In de eerste fase wordt het verbatim protocol met tijdstip en actor van de uitspraken uitgetypt aan de hand van observatie van de op video opgenomen taakuitvoering. Alle videobanden van de taakuitvoeringen van de derde ronde op de MiM-taken Reuzenrad, Hardlopen en Starten/ Stoppen zijn op deze wijze uitgetypt. Alleen de periodes waarop leerlingen langdurig niet over de opdrachten, over wiskunde of iets aanverwants praten, zijn uit de protocollen weggelaten. In de tweede fase wordt het verbatim verslag verder gecodeerd op de aard van de (verbale) handeling en de taakcontext waarbinnen deze plaatsvindt. Dit gebeurt met behulp van een voor protocollering en codering van dialogen ontworpen computerondersteund programma, genaamd MEPA.

Het programma MEPA (Multiple Episode Protocol Analysis)[2] is een algemeen programma, ontworpen door G. Erkens, voor de protocollering, (semi-automatische) codering en analyse van dialoogprotocollen. In het programma kunnen zowel kwalitatieve als statistische analyses van protocollen worden uitgevoerd. Met behulp van het MEPA-programma kunnen ondermeer frequentie-analyse, kruistabellen, interbeoordelaarbetrouwbaarheid-analyse, visuele analyse en lag-sequentiële analyse op de observationele variabelen in de gecodeerde protocollen uitgevoerd worden. In het MEPA-programma wordt een onderscheid gemaakt tussen twee soorten variabelen: *event*-variabelen en *state*-variabelen. *Event*-variabelen zijn variabelen die het voorkomen van kortdurende gebeurtenissen coderen, terwijl *state*- of duur-variabelen een toestand van een systeem, ofwel een fase of episode in een proces, aangeven. In het MEPA-programma wordt bij een *state*-variabele alleen het begin van de toestand, fase of episode gecodeerd tot de volgende toestand, fase of episode ingaat. Het POATS-systeem

---

[2] *Verdere informatie over het gebruik en de mogelijkheden van het MEPA-programma kan verkregen worden bij de auteur G. Erkens, Capaciteitsgroep Onderwijskunde, Universiteit Utrecht, e-mail: G. Erkens@fss.uu.nl.*

voor protocollering van het proces van probleemoplossen bij leerlingen op de MiM-taken is in het MEPA-programma gerealiseerd.

In Tabel 3.5 is ter illustratie een dialoogfragment weergegeven, gecodeerd met het POATS-systeem. Het fragment toont het oplosproces van de tweede steunopdracht in de meer gestructureerde versie van Hardlopen (MiM4; opdrachtnummer 403) door twee leerlingen M en S. Het fragment begint met de probleemstelling en oplossing van de daaraan voorafgaande steunopdracht (402). Vervolgens wordt de volgende opgave (opdrachtnummer 403) voorgelezen, daarna kijken zij naar de animatie op het scherm en proberen wat uit. Bijna gelijktijdig stellen beiden het probleem: S stelt een specifiekere deelvraag (424) welke nodig is om het probleem op te lossen en M herformuleert opdracht 403. De oplossing wordt in een daaropvolgende discussie gezamenlijk ingeschat en wordt, als zij het er beiden over eens zijn, gezamenlijk opgeschreven. Als zij gaan schrijven, zijn ze klaar met oplossen. Toch reflecteert M nog eens op het gevonden antwoord: "53 meter."

Tabel 3.5 Protocol fragment gecodeerd met het POATS-systeem

| Tijd | Actor | Opdracht | Actie | Leerkr | Protocol |
|---|---|---|---|---|---|
| 8:40:47 | M | 402 | P | | " Ja, blijft dat meisje daarna voorop?" |
| 8:40:49 | S | | O | | "Nee |
| 8:40:50 | M | 403 | P | | "Er is een meisje dat eerst helemaal achteraan loopt en dan toch wint. Hoeveel meter heeft dit meisje gelopen als ze voor het eerst iemand inhaalt?" |
| 8:40:57 | MS | | O | | Kijken naar scherm. |
| 8:40:58 | S | | | | Klikt wat met de muis. |
| 8:41:04 | S | 424 | P | | "Nou, wie liep er achteraan?" (wijst een baan aan). |
| 8:41:09 | M | 403 | P | | Wanneer begon ze iedereen in te halen?" |
| 8:41:13 | S | | O | | "Ja, voordat ze de eerste had ingehaald...nou 52 ongeveer?" |
| 8:41:19 | M | | | | "Ja 52 meter." |
| 8:41:21 | S | | | | "En dan heeft ze nog niet eens echt ingehaald..nu loopt ze nog gelijk.." |
| 8:41:24 | M | | | | "Nee, als ze echt heeft ingehaald he." |
| 8:41:28 | S | | | | "Ongeveer 53." |
| 8:41:30 | M | | | | "53." |
| 8:41:32 | MS | | A | | Beginnen beiden te schrijven. |
| 8:41:36 | M | | O | | "53 meter." |

De vijf variabelen die in het POATS-systeem zijn:

**1) Tijd**
Het tijdstip van de verbale uitspraak of fysieke handeling wordt bepaald aan de tijdcode op de opgenomen videoband. In de analyses gaat het hierbij om verschiltijden tussen opeenvolgende handelingen die de duur van de actie aangeven. De duur is vanzelfsprekend met name van belang bij de episodische *state*-variabelen.

**2) Actor**
De actor betreft de code voor degene die de uitspraak of handeling verricht. Behalve beide leerlingen kunnen dit de docent/onderzoeker of eventueel een medeleerling zijn.

**3) Opdracht**
De opdrachtcodering is een in het codeboek vastgelegde nummering van de kern- en steunopdrachten die in de drie MiM-taken gesteld worden en van nieuwe, zelfgeconstrueerde (deel)vragen die de leerlingen zelf in het oplosproces stellen om de taken op te lossen. Opdracht is een state-variabele en geldt totdat een andere opdracht of deelvraag als focus van het oplosproces wordt genomen.

**4) Actie**
De centrale variabele in het POATS-systeem is de actie-variabele welke de aard van het oplosproces betreft. Het probleemoplosproces wordt gecodeerd met een drietal categorieën die activiteiten in het oplosproces weerspiegelen: 'Probleemdefinitie' (P), 'Oplossen' (O) en 'Afhandelen' (A). Deze onderverdeling komt grotendeels overeen met de globale fasen die in het algemeen bij probleemoplossen worden verondersteld (vergelijk Polya, 1957; Schoenfeld, 1989; Mayer, 1992). De categorie 'Probleemdefinitie' wordt in andere faseringen ook wel 'Probleemrepresentatie' genoemd. De vaak onderscheiden fasen 'planning van de oplossing' en 'uitvoering van de oplossing' is in het POATS-systeem vanwege de observeerbaarheid samengevoegd tot 'Oplossen'.
Voor wat betreft het gebruik van de term fasen, moet worden aangetekend dat de fasering niet bij voorbaat een vaste volgorde impliceert ( P > O > A). Juist bij meer open problemen kan sprake zijn van een herdefinitie van het probleem na de evaluatie van een eerder gevonden oplossing (O > P); van het bespreken van alternatieve oplossingen na de afhandeling van een eerdere oplossing (A > O) of van het verbeteren van eerder opgeschreven oplossingen (A > A). Reflectie op het oplosproces en evaluatie van de gevonden oplossingen kan kortom leiden tot herformulering van het probleem, het zoeken van nieuwe oplossingen en herziening van eerder afgehandelde oplossingen en op deze wijze een vaste volgorde doorbreken. In plaats van fasen zullen wij dan ook in het vervolg spreken van episodes in het proces van probleemoplossen.
Bovendien is er bij complexe, slecht gedefinieerde problemen meestal sprake van een hiërarchische gelaagdheid in het proces van probleemoplossen waarbij het kernprobleem pas opgelost kan worden als een of meerdere sub-problemen opgelost worden. Juist het zelfstandig vinden en definiëren van deze sub-problemen vormt bij open complexe problemen een onderdeel van het vinden van de oplossing (Cognition and

voor protocollering van het proces van probleemoplossen bij leerlingen op de MiM-taken is in het MEPA-programma gerealiseerd.

In Tabel 3.5 is ter illustratie een dialoogfragment weergegeven, gecodeerd met het POATS-systeem. Het fragment toont het oplosproces van de tweede steunopdracht in de meer gestructureerde versie van Hardlopen (MiM4; opdrachtnummer 403) door twee leerlingen M en S. Het fragment begint met de probleemstelling en oplossing van de daaraan voorafgaande steunopdracht (402). Vervolgens wordt de volgende opgave (opdrachtnummer 403) voorgelezen, daarna kijken zij naar de animatie op het scherm en proberen wat uit. Bijna gelijktijdig stellen beiden het probleem: S stelt een specifiekere deelvraag (424) welke nodig is om het probleem op te lossen en M herformuleert opdracht 403. De oplossing wordt in een daaropvolgende discussie gezamenlijk ingeschat en wordt, als zij het er beiden over eens zijn, gezamenlijk opgeschreven. Als zij gaan schrijven, zijn ze klaar met oplossen. Toch reflecteert M nog eens op het gevonden antwoord: "53 meter."

Tabel 3.5 Protocol fragment gecodeerd met het POATS-systeem

| Tijd | Actor | Opdracht | Actie | Leerkr | Protocol |
|---|---|---|---|---|---|
| 8:40:47 | M | 402 | P | | " Ja, blijft dat meisje daarna voorop?" |
| 8:40:49 | S | | O | | "Nee |
| 8:40:50 | M | 403 | P | | "Er is een meisje dat eerst helemaal achteraan loopt en dan toch wint. Hoeveel meter heeft dit meisje gelopen als ze voor het eerst iemand inhaalt?" |
| 8:40:57 | MS | | O | | Kijken naar scherm. |
| 8:40:58 | S | | | | Klikt wat met de muis. |
| 8:41:04 | S | 424 | P | | "Nou, wie liep er achteraan?" (wijst een baan aan). |
| 8:41:09 | M | 403 | P | | Wanneer begon ze iedereen in te halen?" |
| 8:41:13 | S | | O | | "Ja, voordat ze de eerste had ingehaald...nou 52 ongeveer?" |
| 8:41:19 | M | | | | "Ja 52 meter." |
| 8:41:21 | S | | | | "En dan heeft ze nog niet eens echt ingehaald..nu loopt ze nog gelijk.." |
| 8:41:24 | M | | | | "Nee, als ze echt heeft ingehaald he." |
| 8:41:28 | S | | | | "Ongeveer 53." |
| 8:41:30 | M | | | | "53." |
| 8:41:32 | MS | | A | | Beginnen beiden te schrijven. |
| 8:41:36 | M | | O | | "53 meter." |

De vijf variabelen die in het POATS-systeem zijn:

**1) Tijd**
Het tijdstip van de verbale uitspraak of fysieke handeling wordt bepaald aan de tijdcode op de opgenomen videoband. In de analyses gaat het hierbij om verschiltijden tussen opeenvolgende handelingen die de duur van de actie aangeven. De duur is vanzelfsprekend met name van belang bij de episodische *state*-variabelen.

**2) Actor**
De actor betreft de code voor degene die de uitspraak of handeling verricht. Behalve beide leerlingen kunnen dit de docent/onderzoeker of eventueel een medeleerling zijn.

**3) Opdracht**
De opdrachtcodering is een in het codeboek vastgelegde nummering van de kern- en steunopdrachten die in de drie MiM-taken gesteld worden en van nieuwe, zelfgeconstrueerde (deel)vragen die de leerlingen zelf in het oplosproces stellen om de taken op te lossen. Opdracht is een state-variabele en geldt totdat een andere opdracht of deelvraag als focus van het oplosproces wordt genomen.

**4) Actie**
De centrale variabele in het POATS-systeem is de actie-variabele welke de aard van het oplosproces betreft. Het probleemoplosproces wordt gecodeerd met een drietal categorieën die activiteiten in het oplosproces weerspiegelen: 'Probleemdefinitie' (P), 'Oplossen' (O) en 'Afhandelen' (A). Deze onderverdeling komt grotendeels overeen met de globale fasen die in het algemeen bij probleemoplossen worden verondersteld (vergelijk Polya, 1957; Schoenfeld, 1989; Mayer, 1992). De categorie 'Probleemdefinitie' wordt in andere faseringen ook wel 'Probleemrepresentatie' genoemd. De vaak onderscheiden fasen 'planning van de oplossing' en 'uitvoering van de oplossing' is in het POATS-systeem vanwege de observeerbaarheid samengevoegd tot 'Oplossen'.
Voor wat betreft het gebruik van de term fasen, moet worden aangetekend dat de fasering niet bij voorbaat een vaste volgorde impliceert ( P > O > A). Juist bij meer open problemen kan sprake zijn van een herdefinitie van het probleem na de evaluatie van een eerder gevonden oplossing (O > P); van het bespreken van alternatieve oplossingen na de afhandeling van een eerdere oplossing (A > O) of van het verbeteren van eerder opgeschreven oplossingen (A > A). Reflectie op het oplosproces en evaluatie van de gevonden oplossingen kan kortom leiden tot herformulering van het probleem, het zoeken van nieuwe oplossingen en herziening van eerder afgehandelde oplossingen en op deze wijze een vaste volgorde doorbreken. In plaats van fasen zullen wij dan ook in het vervolg spreken van episodes in het proces van probleemoplossen.
Bovendien is er bij complexe, slecht gedefinieerde problemen meestal sprake van een hiërarchische gelaagdheid in het proces van probleemoplossen waarbij het kernprobleem pas opgelost kan worden als een of meerdere sub-problemen opgelost worden. Juist het zelfstandig vinden en definiëren van deze sub-problemen vormt bij open complexe problemen een onderdeel van het vinden van de oplossing (Cognition and

Technology Group at Vanderbilt, 1996). Dit is in dit onderzoek met name het geval bij de minder gestructureerde aanbieding van de MiM-taken waarbij de leerlingen alleen de kernopdracht krijgen en zelfstandig de sub-problemen moeten definiëren en oplossen, die nodig zijn om het kernprobleem op te lossen. In de meer gestructureerde conditie daarentegen krijgen de leerlingen de sub-problemen in de vorm van de steunopdrachten aangeboden. Ook door deze gelaagdheid kan de bovengenoemde volgorde doorbroken worden en kan bijvoorbeeld de probleemdefinitie van het kernprobleem gevolgd worden door de probleemdefinitie van een deelprobleem (P > P). Om deze inbedding van het oplosproces van sub-problemen in het overkoepelende kernprobleem te coderen wordt in het POATS-systeem in de opdracht-variabele gebruik gemaakt van opdrachtnummercodes die de verschillende mogelijke kernopdrachten, steunopdrachten en zelfgeconstrueerde sub-problemen aangeven.

Ter verduidelijking worden in Tabel 3.6 de omschrijvingen van de verschillende actiecategorieën weergegeven zoals deze in het codeboek van het POATS-systeem worden gespecificeerd.

Tabel 3.6 Codeboek POATS-systeem, omschrijving actie-variabele

| Probleemdefinitie. **O**plossen, **A**fhandeling, **T**echnisch, **S**ociaal, (**POATS**)<br>Actie-variabele: | |
|---|---|
| Probleemdefinitie | het (hardop) lezen van een opdracht, het in eigen woorden beschrijven van een opdracht, het herhalen van de bedoeling van de opdracht zonder aan te geven hoe de opdracht moet worden aangepakt, en het zelf definiëren van sub-vragen.<br>Bij het begin van iedere nieuwe P wordt volgens het codeboek een nummer toegekend. Alle opdrachten uit beide versies zijn genummerd. Indien leerlingen zichzelf een probleem stellen die niet in de opdrachten staat, wordt de nummering van het codeboek uitgebreid. |
| Oplossen | oplossen van een gestelde opdracht of gesteld probleem.<br>Ook als de docent klassikaal algemeen instructie geeft over de aanpak van een opdracht is dit een O. Oplossen onderscheidt zich van Afhandelen, doordat leerlingen over het algemeen eerst de oplossing moeten formuleren voordat ze de oplossing beginnen op te schrijven. Het controleren van een antwoord wordt als Oplossen gescoord, omdat dit reflectie is op het oplossen. |
| Afhandelen | het afronden van de kern- of steunopdracht.<br>Leerlingen schrijven iets op of gebruiken de computer om de gestelde opdracht af te handelen. Afhandelen wordt ook gescoord als leerlingen evalueren wat ze bij een opdracht nog moeten doen. |
| Technisch | alle moeilijkheden met betrekking tot het computergebruik, het gebruik maken van instructiebladen, enz. |
| Sociaal | alle sociale uitingen, zoals: "mag ik je gum even", "wat voor een cijfer had je bij Nederlands". Ook alle acties die geen betrekking hebben op de inhoud of het technische gedeelte van de stof. |

De drie onderscheiden activiteiten (P, O en A) worden gecodeerd als episodes in de dialoogprotocollen die geïnitieerd worden door een kenmerkende uitspraak van één van de leerlingen. In deze uitspraak wordt een opdracht of (sub)probleem gespecificeerd (P), een mogelijke oplossing voorgesteld (O) of de afhandeling van een gevonden oplossing aangegeven (A). Volgende uitspraken of handelingen van beide leerlingen die op deze initiërende uitspraak verder doorgaan worden tot dezelfde episode gerekend. Een episode kan dan ook omschreven worden als een geheel aan opeenvolgende uitspraken in de discussie tussen de leerlingen die inhoudelijk opgevat kunnen worden als gericht op eenzelfde doel. De actie-variabele is daarmee eveneens gedefinieerd als een zogenaamde '*state*-' of duurvariabele waarbij de tijdsduur van belang is (Bakeman en Quera, 1995). De duur van de episode geeft de tijd aan waarin het proces zich in een bepaalde toestand of fase bevindt. Aan de hand van de tijdcoderingen kan worden nagegaan hoe lang de leerlingen gemiddeld bezig zijn met het overleg over het probleem, hoe lang het vinden van een oplossing duurt en hoeveel tijd de leerlingen kwijt zijn aan het rapporteren van een gevonden oplossing.
Naast deze drie taakgerichte categorieën worden twee niet-taakgerichte categorieën onderscheiden (zie Tabel 3.6). De categorie 'Technisch' (T) wordt gecodeerd als de leerlingen verwikkeld zijn in technische problemen ten aanzien van de hantering en interface van het MiM-programma. De categorie 'Sociaal' (S) betreft alle niet taakgerichte, sociale interactie tussen de leerlingen. Gezien het feit dat deze categorieën relatief weinig in de protocollen voorkomen, zullen de niet-taakgerichte categorieën T en S in de rapportage van de uitgevoerde analyses verder buiten beschouwing worden gelaten.

**5) Leerkracht**
In de laatste, vijfde variabele worden de instructies en gegeven hulp van de docent gecodeerd in een drietal categorieën:

- Li leerkracht initieert
- Lr leerkracht reageert
- Lk leerkracht zegt iets klassikaal

Deze variabele is aan het POATS-systeem toegevoegd om inzicht te verkrijgen in de aard van de begeleiding die door de leerlingen van de docent gevraagd wordt of die de docent aan de leerlingen op eigen initiatief biedt.

### *3.6.4 Triangulatie*
De verschillende manieren van verwerken van de leerling-gedragingen (beoordeling van het leerlingwerk, interpretatieve analyse en gestructureerde analyse) zullen in hoofdstuk 9 op elkaar betrokken worden.

# 4 ONTWIKKELEN VAN HET ONDERWIJSPAKKET; WISKUNDIGE INHOUD

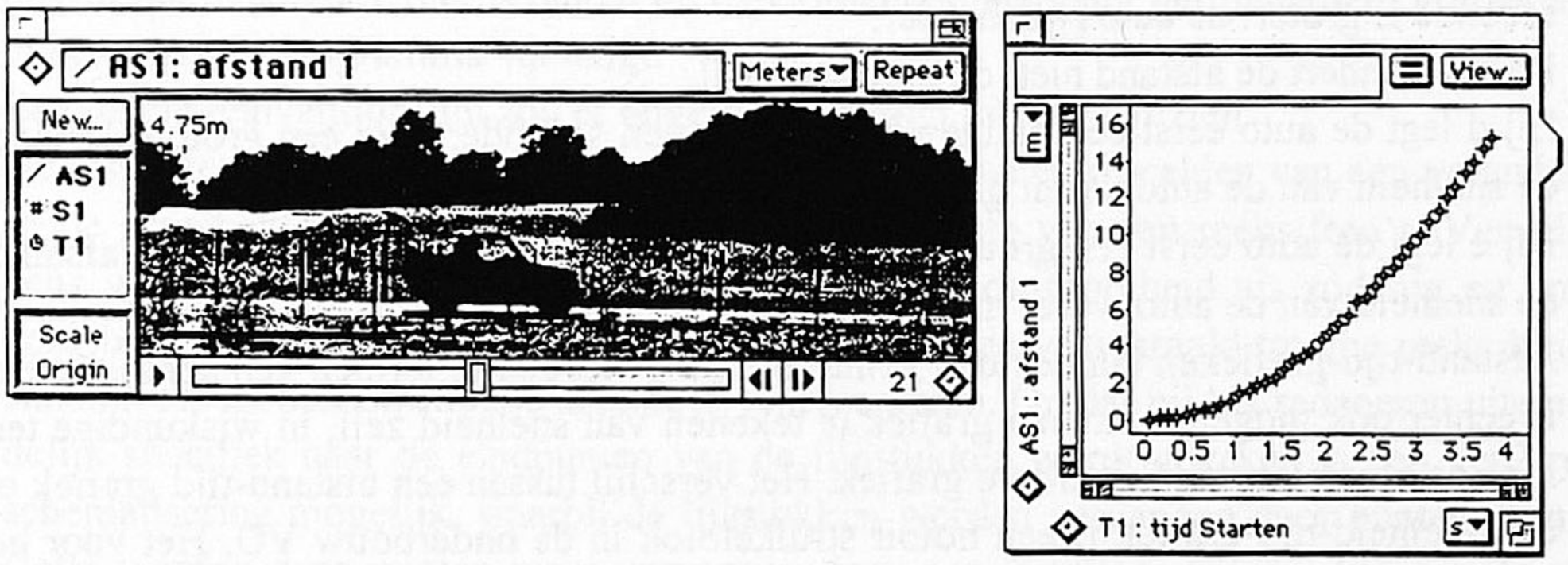
## 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk en in het volgende hoofdstuk beschrijven we de ontwikkeling van het onderwijspakket bij het programma Measurement in Motion. In hoofdstuk 4 ligt de nadruk op de wiskundige inhoud van de leergang. We geven een globale beschrijving van de leergang en bespreken welke veranderingen zijn doorgevoerd in de drie verschillende rondes van het onderzoek. De nadruk ligt op de didactische bedoelingen van de verschillende taken. In hoofdstuk 5 worden de overige kenmerken van het pakket besproken, met name de aspecten die betrekking hebben op structuur. Er waren in elke ronde steeds twee versies van de meeste taken: minder gestructureerd of meer gestructureerd. Alle beslissingen die op dat punt genomen zijn komen in het volgende hoofdstuk aan de orde.

## 4.2 Grafieken en Measurement in Motion

Het onderwijspakket is bedoeld als een kennismaking met grafieken. Voor de meeste leerlingen zal het een hernieuwde kennismaking zijn omdat grafieken ook in de basisschool aan de orde komen. Het onderwijspakket moet, net als hoofdstuk 5 van Moderne Wiskunde een basis leggen voor het kunnen interpreteren van bestaande grafieken en het zelf tekenen van grafieken.

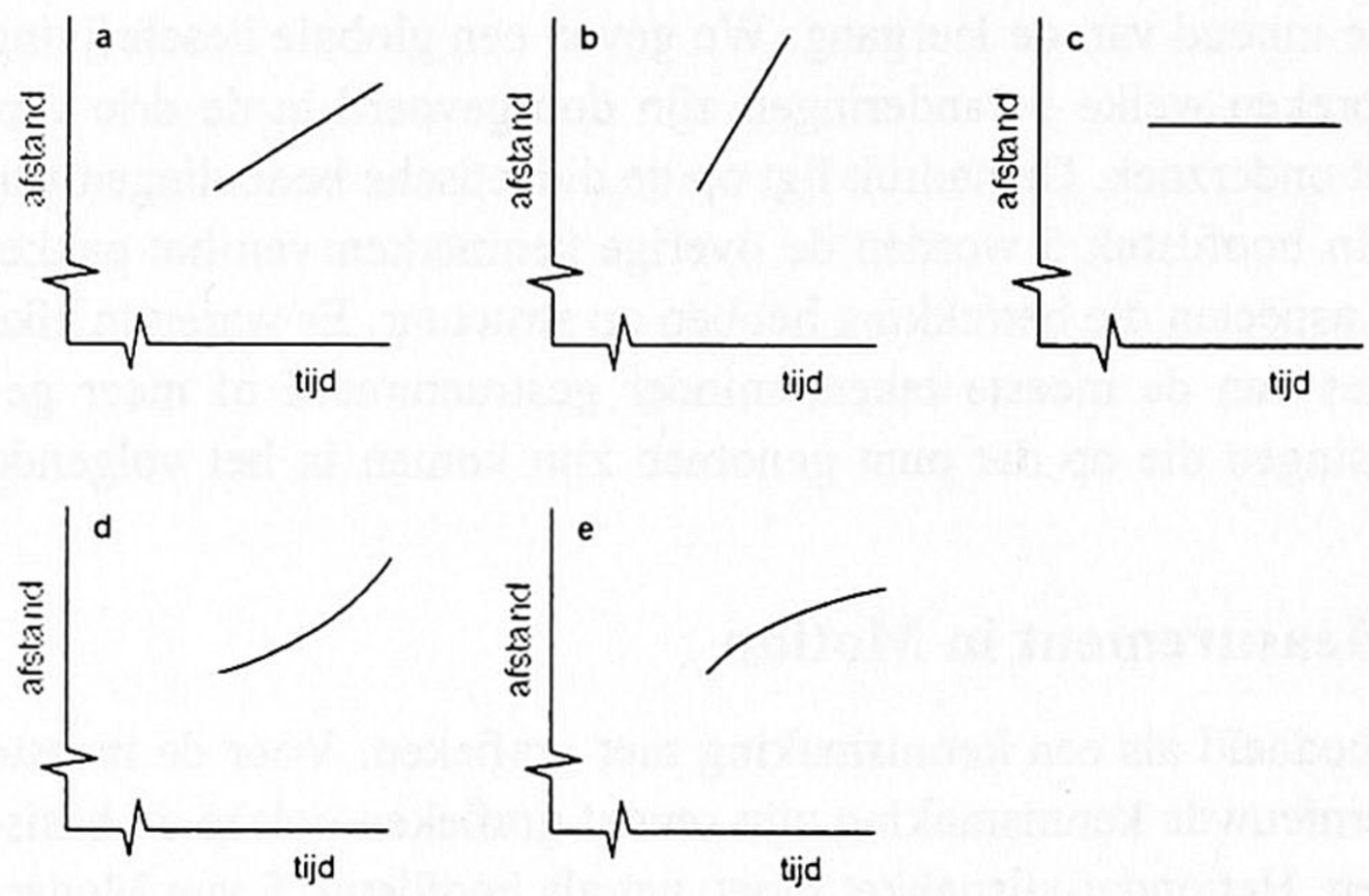
De nadruk in het onderwijspakket ligt op grafieken van afstand ten opzichte van tijd. Een voorbeeld is de grafiek in Figuur 4.1 bij het computerfilmpje van een startende auto.




Figuur 4.1 Starten en stoppen MiM5-taak

Uit de met Measurement in Motion getekende grafiek valt af te lezen dat het aantal meters dat de startende auto al heeft afgelegd steeds groter wordt. In het filmpje is die afstand aangegeven met een groen meetlijntje; dit lijntje is in Figuur 4.1 onder de weg van links tot de achterkant van de auto zichtbaar. Uit de grafiek valt ook te lezen dat de

snelheid van de auto verandert: de auto heeft ongeveer 3 meter nodig om op snelheid te komen; daarna blijft zijn snelheid constant.
De kern van wat leerlingen via het onderwijspakket zouden moeten ontdekken is: de vorm van een afstand-tijd-grafiek weerspiegelt niet alleen dat de afstand groter wordt, maar weerspiegelt ook hoe groot de afstandsverandering per tijd is, dat wil zeggen: hoe groot de *snelheid* is.
Dit kan worden toegelicht aan de hand van Figuur 4.2, die stukjes toont uit afstand-tijd-grafieken van een willekeurige auto.




Figuur 4.2 Vormen van afstand-tijd grafieken

Bij a wordt in elke seconde een even grote afstand afgelegd: de snelheid van de auto is constant.
Bij b wordt in elke seconde ook een even grote afstand afgelegd, maar de afstand per seconde is groter: de auto rijdt harder.
Bij c verandert de afstand niet: de auto staat stil.
Bij d legt de auto eerst een kleine afstand af in een seconde, later een grotere afstand: de snelheid van de auto wordt groter.
Bij e legt de auto eerst een grote afstand af in een seconde, later een kleinere afstand: de snelheid van de auto wordt minder.
Afstand-tijd-grafieken kunnen dus geïnterpreteerd worden in termen van snelheid. Het is echter ook mogelijk om een grafiek te tekenen van snelheid zelf, in wiskundige termen de afgeleide van de eerdere grafiek. Het verschil tussen een afstand-tijd grafiek en een snelheid-tijd-grafiek is een notoir struikelblok in de onderbouw VO. Het voor het onderzoek ontwikkelde onderwijspakket eindigde in elk van de drie rondes met het vergelijken van één of meer afstand-tijd-grafieken met de overeenkomende snelheid-tijd-grafieken. Pas in de versie voor de derde ronde kreeg deze vergelijking echter veel nadruk.
Een computerprogramma als Measurement in Motion biedt voor het onderwerp grafieken een aantal voordelen boven een boek:

- Startpunt is video van een dynamische situatie. Bij het maken van opgaven uit een wiskundeboek moet de leerling zich die dynamische situatie voorstellen.
- In het filmpje wordt de meting waar het om gaat zichtbaar gemaakt met een gekleurd lijntje. Punten in de grafiek krijgen zo betekenis als waarden van een specifieke meting. De stap bijvoorbeeld van afgelegde horizontale afstand, zoals bij de startende auto, naar een weergave via hoogte in de grafiek - vertikaal - wordt hiermee veel makkelijker gemaakt.
- De leerling kan zelf kiezen welke grafiek hij de computer laat maken. De leerling kan zelf de variabelen kiezen, maar kan bijvoorbeeld ook experimenteren met tijd op de verticale as in plaats van op de horizontale. In een boek is de grafiek meestal al gegeven. Zelf verschillende grafieken tekenen is veel werk.

In principe biedt Measurement in Motion nog veel meer, bijvoorbeeld de mogelijkheid om meetgegevens in een tabel te laten zetten en de mogelijkheid om de grafiek bij een filmpje te vergelijken met de grafiek van een zelfgekozen functie. Omdat het onderwijspakket in ons onderzoek bedoeld was als een kennismaking met grafieken zijn deze mogelijkheden niet gebruikt.

## 4.3 Reinvention

Het leren van (lijn)grafieken zou in een ideale realistische leergang volgens het reinvention principe moeten worden vormgegeven. Bij het onderwerp grafieken in de brugklas doen zich daarbij echter twee problemen voor. Eén probleem is gelegen in het feit dat de leerlingen al bekend zijn met (lijn)grafieken, omdat dit een onderwerp is dat aan de orde komt op de basisschool. Van nul af aan uitvinden van grafieken is in de brugklas dus niet meer mogelijk. Het tweede probleem betreft de tijd die voor dit onderwerp in het reguliere programma beschikbaar is. Een reinvention benadering vraagt de nodige tijd en die is er in het huidige programma niet. Dit betekent dat die tijd er ook in het onderzoek niet is omdat de experimentele leergang het onderdeel grafieken in het normale programma vervangt.

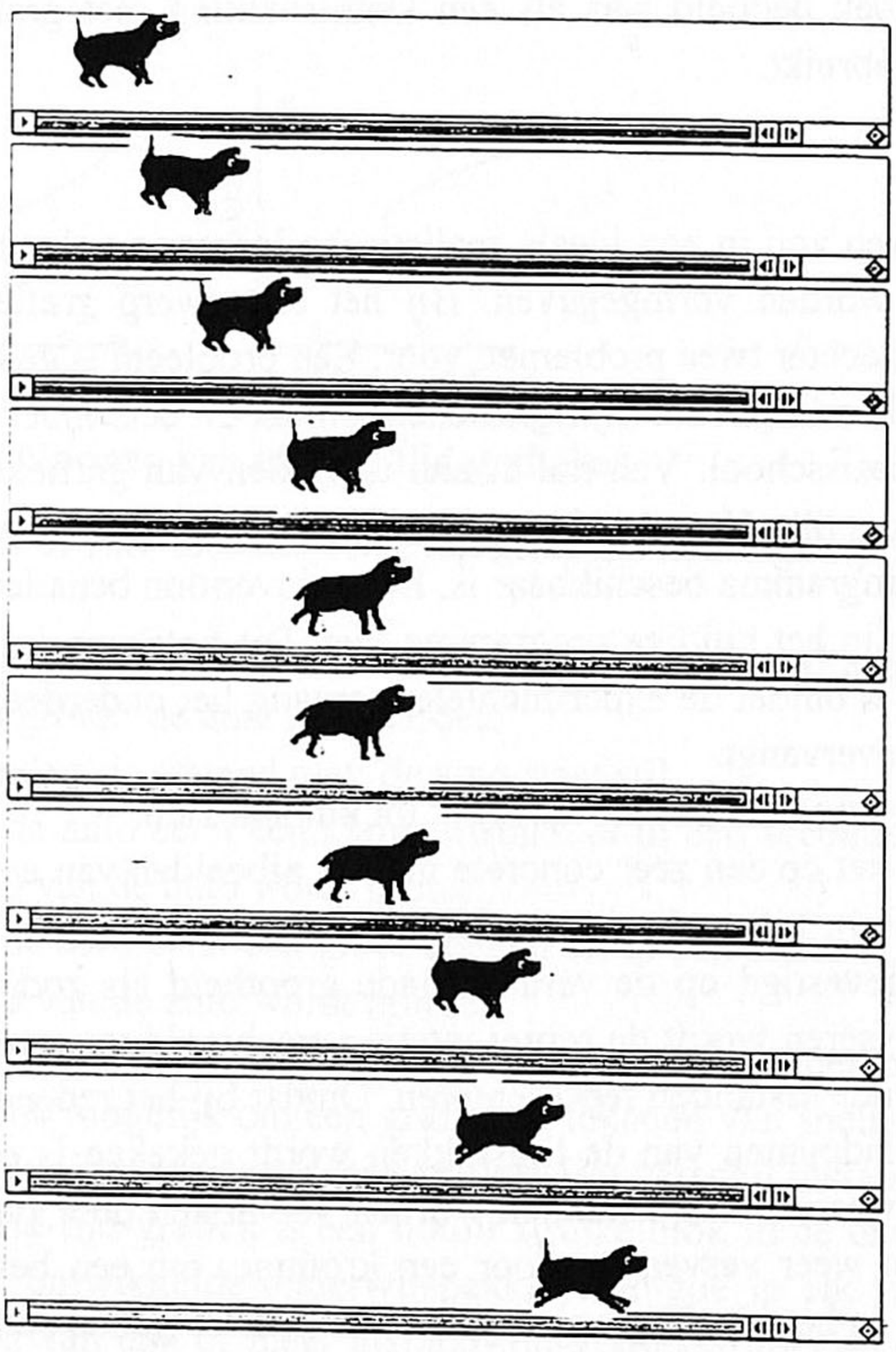
Een ideale reinvention-lijn zou er ongeveer als volgt uit kunnen zien.

De lessenserie begint met het op een zeer concrete manier afbeelden van een veranderende grootheid (i.c. afstand), bijvoorbeeld met behulp van een reeks foto's. Vervolgens wordt de aandacht gevestigd op de veranderende grootheid als zodanig en om deze beter te kunnen analyseren wordt de representatie verschraald tot een reeks lijnstukken die de desbetreffende afstanden representeren. Omdat bij het redeneren uiteindelijk specifiek naar de eindpunten van de lijnstukken wordt gekeken is een verdere schematisering mogelijk, waarbij de lijnstukken worden vervangen door punten. Tenslotte worden deze punten weer vervangen door een kromme, om een beter zicht te krijgen op veranderingen. In het ideale geval worden de opeenvolgende stappen in dit proces door de leerlingen zelf gezet.

We kunnen dit zelf construeren van nieuwe representaties zo dicht mogelijk benaderen door veel aandacht te geven aan het interpreteren, analyseren en reflecteren van de verschillende representaties. Conform de realistische benadering zal dat primair gebeu-

ren aan de hand van contextopgaven. Daarbij kunnen we twee typen activiteiten onderscheiden: (1) Beschrijven van fenomenen met grafieken en, omgekeerd, het interpreteren van grafieken in termen van de beschreven situatie; (2) Opmerken en verklaren van patronen, zoals bijvoorbeeld de samenhang tussen de snelheid van een auto en de steilheid van een bijbehorende afstandsgrafiek. Met dit laatste is de experimentele leergang ambitieuzer dan de meeste schoolboeken, want die beperken zich tot afstandsgrafieken voor de eerste klas. Juist in het verklaren van dergelijke patronen komt echter het werkelijke inzicht in afstand-tijd-grafieken naar voren.

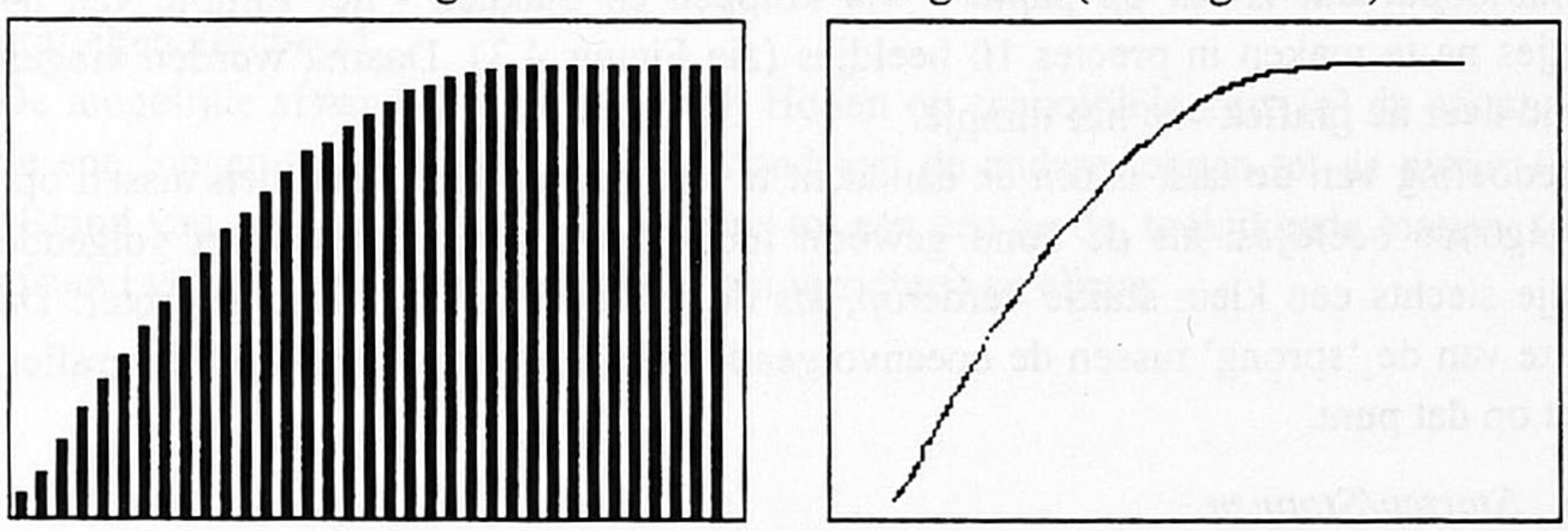
In de lessenserie die voor de eerste ronde was ontworpen wordt gestart met het analyseren van een tekenfilmpje: een door de leerlingen gemaakte reeks van opeenvolgende filmbeeldjes speelt de rol van een concrete grafiek. Deze reeks van onder elkaar geplaatste filmbeeldjes wordt daarbij gezien als een voorloper van een tijd-afstand grafiek (zie Figuur 4.3).



Figuur 4.3 Tekenfilm met hondje

Hierna komen opgaven aan bod waarin discrete waarden van een veranderende grootheid (afstand of lengte) worden gerepresenteerd met lijnstukken of stroken. Daarbij

wordt gebruik gemaakt van de mogelijkheden die Measurement in Motion biedt om representatie en (gefilmde) werkelijkheid direct met elkaar in verband te brengen.
Vervolgens kan binnen Measurement in Motion de overgang worden gemaakt naar een puntengrafiek. Met Measurement in Motion kunnen helaas geen echte lijngrafieken worden gemaakt, maar de puntgrafieken benaderen de lijngrafiek dicht. Om de continuïteit van de beweging echt zichtbaar te maken moeten de leerlingen zelf lijngrafieken tekenen.
In deze opzet komt de lijngrafiek in zijn uiteindelijke vorm te voorschijn uit een opeenvolging van grafische representaties. Men spreekt in dit verband wel van een cascade of inscriptions (Lehrer e.a, in presss), of van een chain of signification (zie Cobb e.a. 1997). Grondgedachte is dat de opeenvolgende representaties voor de leerlingen samenhangen; elke nieuwe representatie verwijst naar de vorige. Dit betekent niet dat de nieuwe representaties letterlijk dezelfde betekenis hebben als hun voorgangers. De nieuwe representaties worden geïntroduceerd omdat ze beter geschikt lijken om bepaalde aspecten te analyseren, c.q. om bepaalde vragen te beantwoorden.
Door nieuwe representaties op een nieuwe manier te gebruiken ontwikkelen de leerlingen nieuwe inzichten. Daarmee veranderen in feite ook de representaties zelf ook; de leerlingen kunnen er nu nieuwe dingen in zien. Meira (1995) spreekt in dit verband van een dialectische relatie tussen de ontwikkeling van symboliseringen en de ontwikkeling van de daarmee samenhangende inzichten.
Een verandering in afgelegde weg wordt in een staafgrafiek bijvoorbeeld zichtbaar in de verschillen in de lengtes van de staven van de grafiek (zie Figuur 4.4).



Figuur 4.4 Staaf- en lijngrafiek.

In een lijngrafiek wordt dezelfde verandering zichtbaar in de helling van de grafiek (zie Figuur 4.4). De leerling kan dit enerzijds begrijpen door de helling in de lijngrafiek te relateren aan de lengteverschillen in een overeenkomstige staafgrafiek. Of anderzijds, door de grafiek dynamisch op te vatten en de helling over een groter interval te extrapoleren. Wanneer de leerling zich beide inzichten heeft eigen gemaakt, heeft hij/zij een dieper inzicht in de samenhang tussen (verandering van) afgelegde weg en snelheid en de grafische representatie daarvan.
In de opbouw van de activiteiten is verder gestreefd naar een start waarbij er een maximale overeenstemming is tussen fenomeen en representatie. Opgaven waarin de

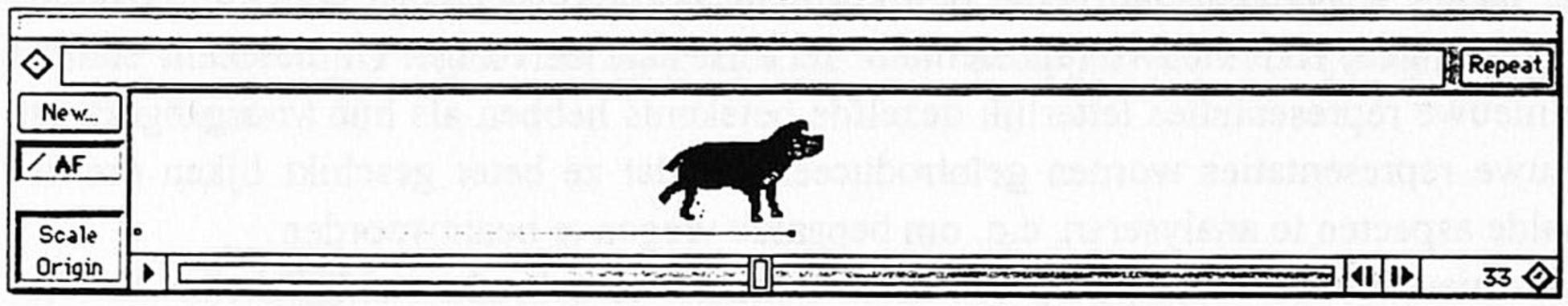
richting van de afstand in de grafiek past bij de richting van de grootheid in het videofilmpje gaan vooraf aan opgaven waarin dit niet het geval is.

## 4.4 De leergang in de eerste ronde

De leergang zoals getest op de eerste proefschool omvatte stof voor 9 lessen van 40 minuten. De leergang bestond uit zeven taken.

### *4.4.1 Klassikale introductie*

Aan de hand van een fragment uit een programma van 'Discovery Channel' wordt besproken wat bij film en video het aantal beeldjes per seconden inhoudt. De bedoeling van de komende lessenserie wordt uitgelegd.




Figuur 4.5 Hond die loopt en stil staat

### *4.4.2 Tekenfilm*

Een tekenfilm van 22 seconden (zie Figuur 4.5) laat een hond zien die van links naar rechts over het scherm loopt, halverwege blijft staan om te plassen en dan gaat hollen. De hoofdopdracht is om op papier - via knippen en plakken - het filmpje van 64 beeldjes na te maken in precies 10 beeldjes (zie Figuur 4.3). Daarna worden vragen gesteld over de grafiek van het filmpje.

De bedoeling van de taak is om de aandacht te vestigen op de verschillen tussen opeenvolgende beeldjes: als de hond gewoon loopt staat het plaatje op het volgende beeldje slechts een klein stukje verderop, als de hond holt is het verschil groter. De grootte van de 'sprong' tussen de opeenvolgende beeldjes bepaalt hoe steil de grafiek wordt op dat punt.

### *4.4.3 Starten/Stoppen*

Twee filmpjes laten zien hoe een auto start en stopt. Nadat leerlingen het filmpje van de startende auto en de daarbij horende afstand-tijd-grafiek hebben onderzocht wordt hen gevraagd om de grafiek voor de stoppende auto te voorspellen.

De bedoeling van de taak is weer vooral om leerlingen over de steilheid van de grafiek na te laten denken. De grafiek van de startende auto wordt steeds steiler totdat de auto een vaste snelheid heeft bereikt; de grafiek van de stoppende auto daalt eerst langzaam en dan steeds sneller.

### *4.4.4 Reuzenrad*

Bij een video-opname van een reuzenrad op de Dam staat op papier een verhaal over José . Hoofdopdracht is om uit te zoeken hoe lang José in vijf rondjes samen boven

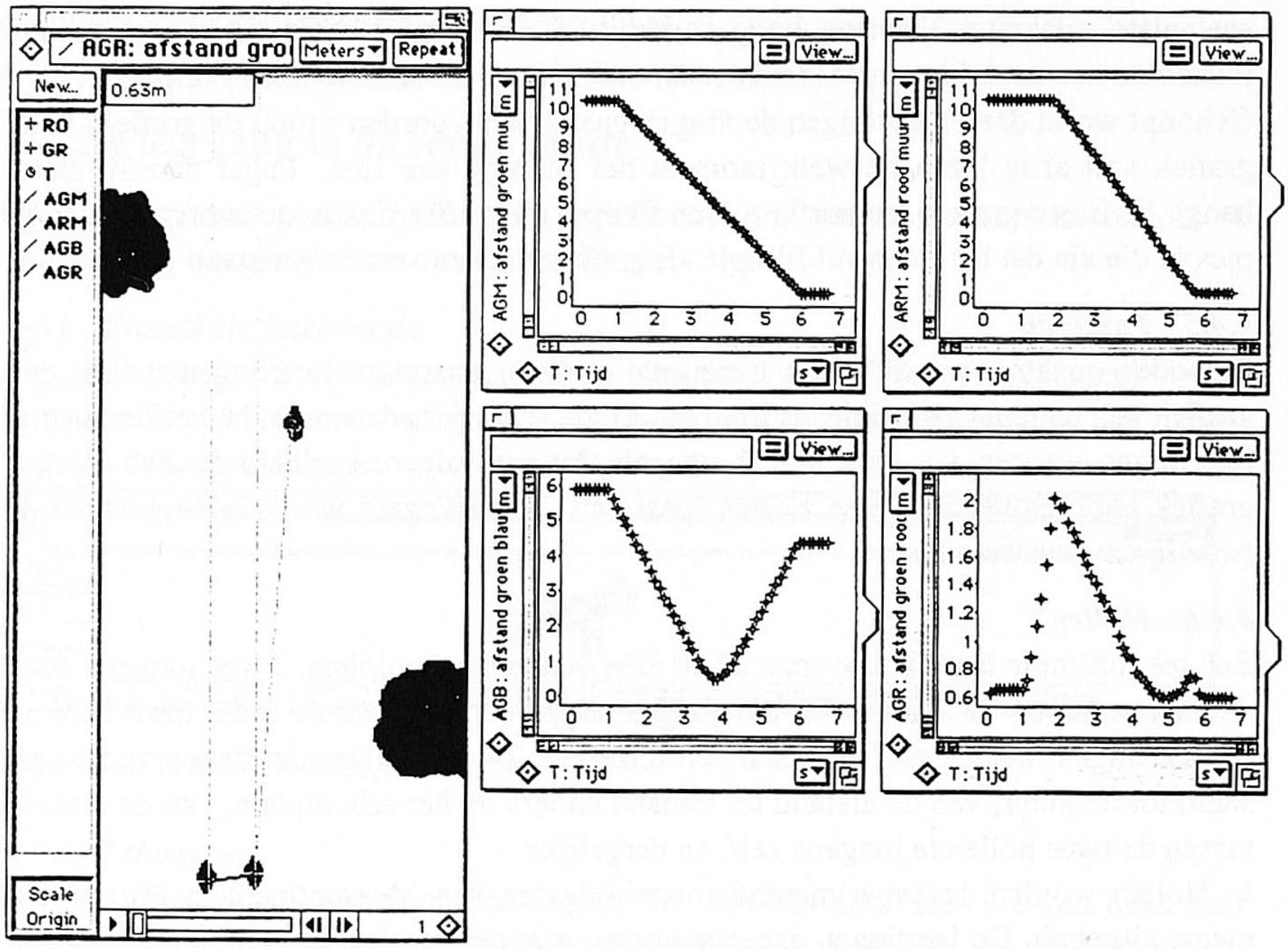
het paleis - dakrand 30 meter hoog - uitkijkt. Daarbij kan betrokken worden dat het reuzenrad een aantal keren stil moet staan om mensen uit en in te laten stappen.
Gehoopt wordt dat de leerlingen de vragen gaan beantwoorden vanuit de grafiek. In de grafiek valt af te lezen op welk moment het schuitje van José hoger dan 30 meter hangt. Er is een grotere isomorfie tussen filmpje en grafiek dan in de voorgaande filmpjes in die zin dat het in zowel filmpje als grafiek om een *verticale* afstand gaat.

### *4.4.5 Passeren*

De video-opname laat zien hoe twee auto's elkaar passeren. Leerlingen maken een grafiek van de langzaam rijdende auto en van de snel rijdende auto in hetzelfde plaatje. Leerlingen ervaren via deze taak nogmaals dat een hogere snelheid tot een steilere grafiek leidt. Bovendien zien ze hoe 'passeren' weerspiegeld wordt in de grafiek: de twee lijnen kruisen elkaar.

### *4.4.6 Hollen*

Een tekenfilmpje laat het bovenaanzicht zien van een schoolplein. Twee jongens doen wie het eerste bij de muur is: de ene jongen begint eerder, maar de ander haalt hem in. De leerlingen moeten zelf de afstanden uitzetten. Ze vergelijken grafieken van de afstand tot de muur, van de afstand tot iemand anders op het schoolplein, van de afstand tussen de twee hollende jongens zelf, en dergelijke.
In Hollen worden de experimentatiemogelijkheden van Measurement in Motion het meest uitgebuit. De leerlingen experimenteren met het verplaatsen van de meetpunten en onderzoeken welke grafieken dat oplevert. In Figuur 4.6 staan een aantal mogelijke grafieken afgebeeld.
De mogelijke afstand-tijd-grafieken bij Hollen op schoolplein zijn: (a) de afstand van de ene jongen tot de muur; (b) de afstand van de andere jongen tot de muur; (c) de afstand van een van de hollende jongens tot een een derde, toekijkende jongen; (d) de afstand van de twee hollende jongens ten opzichte van elkaar.

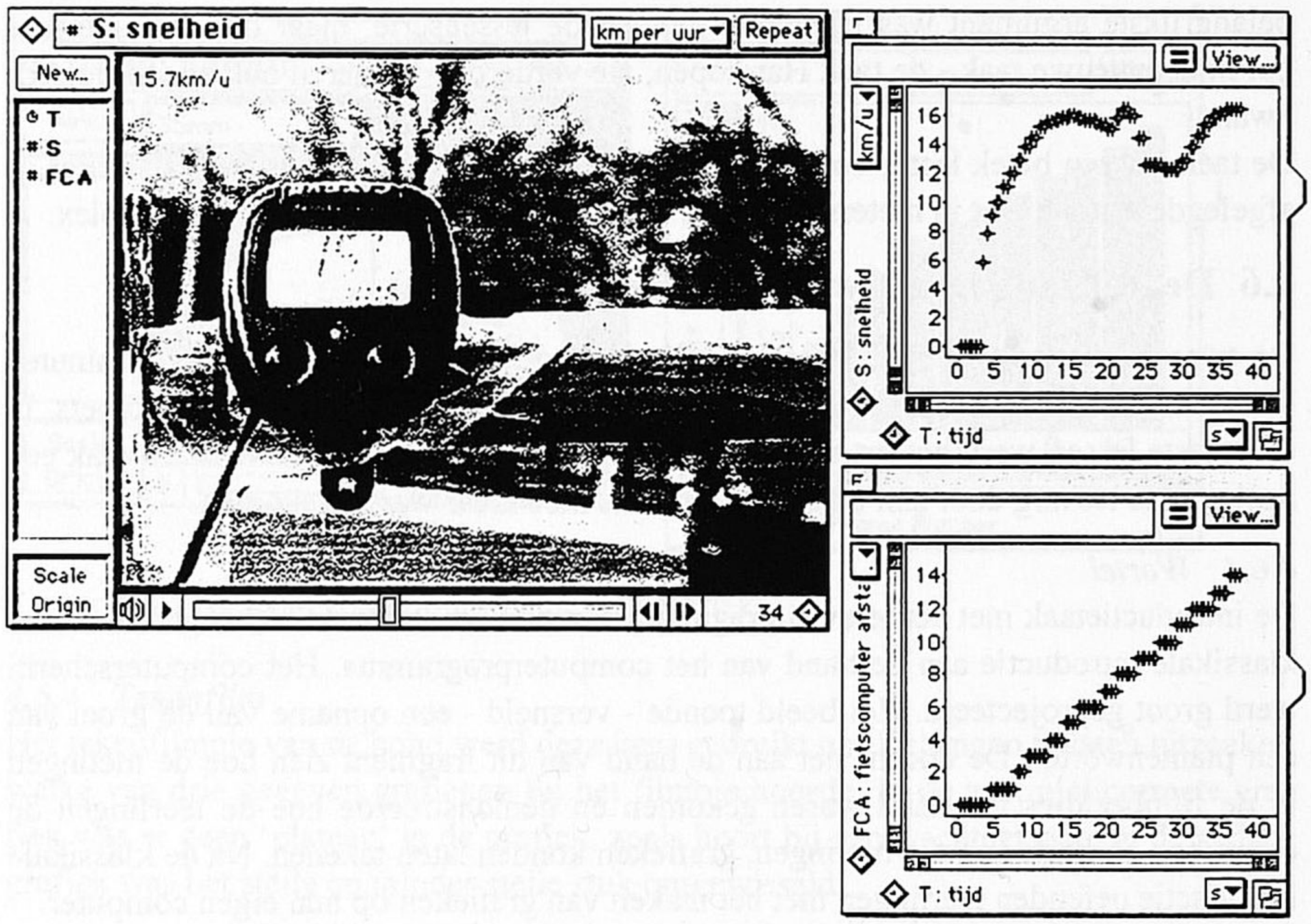



Figuur 4.6 Hollen op schoolplein met mogelijke afstand-tijd-grafieken

### *4.4.7 Fietsen*

Het onderscheid tussen een grafiek van *afstand* ten opzichte van tijd en van *snelheid* ten opzichte van tijd is een notoir struikelblok voor leerlingen. Waarschijnlijk om die reden horen snelheidsgrafieken niet tot de stof voor de eerste klas. In het onderzoek is er voor gekozen om ook opdrachten rond een snelheidsgrafiek op te nemen, met als argument dat juist het conflict tussen afstand-tijd en snelheid-tijd nuttig is om te zien of leerlingen werkelijk iets van grafieken begrijpen.

In de taak wordt gebruik gemaakt van twee filmpjes die tegelijktijdig zijn opgenomen. Op het ene filmpje zie je een meisje aan komen fietsen dat vlak voor de camera de hoek omdraait. Het tweede filmpje is gemaakt met een op haar fiets gemonteerde camera en laat haar fietscomputer zien (zie Figuur 4.7). De fietscomputer geeft zowel snelheid als afgelegde afstand. Zoals in Figuur 4.7 te zien is weerspiegelt de grafiek van snelheid ten opzichte van tijd heel duidelijk dat de fietser afremt bij de hoek en dan weer versnelt.




Figuur 4.7 Fietsen met afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken.

Leerlingen onderzoeken de grafieken van snelheid ten opzichte van tijd en afstand ten opzichte van tijd. Een complicatie bij deze taak is dat de fietscomputer de afstand aangeeft per 10 meter, wat betekent dat de afstand een aantal videobeeldjes 'gelijk' blijft. In de grafiek van afstand ten opzichte van tijd is dat duidelijk te zien. Voorafgaand aan de grafieken van Figuur 4.7 werd daarom een - geconstrueerde - grafiek getoond van de eerste 13 seconden met de precieze afstand in meters. Een complicatie is ook dat subtiele veranderingen in snelheid in de - veel grovere - afstandsgrafiek nauwelijks terug te vinden zijn.

## 4.5 Ervaringen in de eerste ronde

De tekenfilmtaak met hondjes (zie Figuur 4.3) - met de opdracht om het tekenfilmpje op een werkblad in tien beeldjes na te maken - bleek nogal lastig te zijn. Probleem was vooral dat de leerlingen niet begrepen wat er van hen gevraagd werd. Er werd besloten om de taak in de tweede ronde te vervangen door een taak rond de groei van een champignon. We zullen deze taak in de volgende paragraaf bespreken.
Hollen was, zoals gezegd, een taak waarbij de experimentatiemogelijkheden van Measurement in Motion werden uitgebuit, maar het bleek daardoor ook een taak waarin de nadruk erg op de technische aspecten van het programma kwam te liggen. Werken met Measurement in Motion is op dit niveau niet zo eenvoudig; er moet bijvoorbeeld voor gezorgd worden dat een versleept meetpunt ook op alle andere beeldjes verplaatst wordt. Uiteindelijk is besloten om deze taak in de tweede ronde te laten vervallen. Het

belangrijkste argument was tijdgebrek binnen de lessenserie, maar ook speelde mee dat in een nieuwe taak - de taak Hardlopen, zie verderop - passeren ook al aan de orde kwam.
De taak Fietsen bleek lastig voor sommige leerlingen. Het feit dat de fietscomputer de afgelegde afstand niet in meters gaf, maar per 10 meter, maakte de situatie complex.

## 4.6 De leergang in de tweede ronde

De tweede ronde werd op een andere school uitgevoerd waar de lessen 50 minuten duurden, in plaats van 40. Er waren 8 lessen, inclusief het maken van een eindtoets. In de meeste lessen werd gestart met een nieuwe taak, maar leerlingen werkten vaak een deel van de les nog door aan taken waar ze niet mee klaar waren gekomen.

### *4.6.1 Wortel*

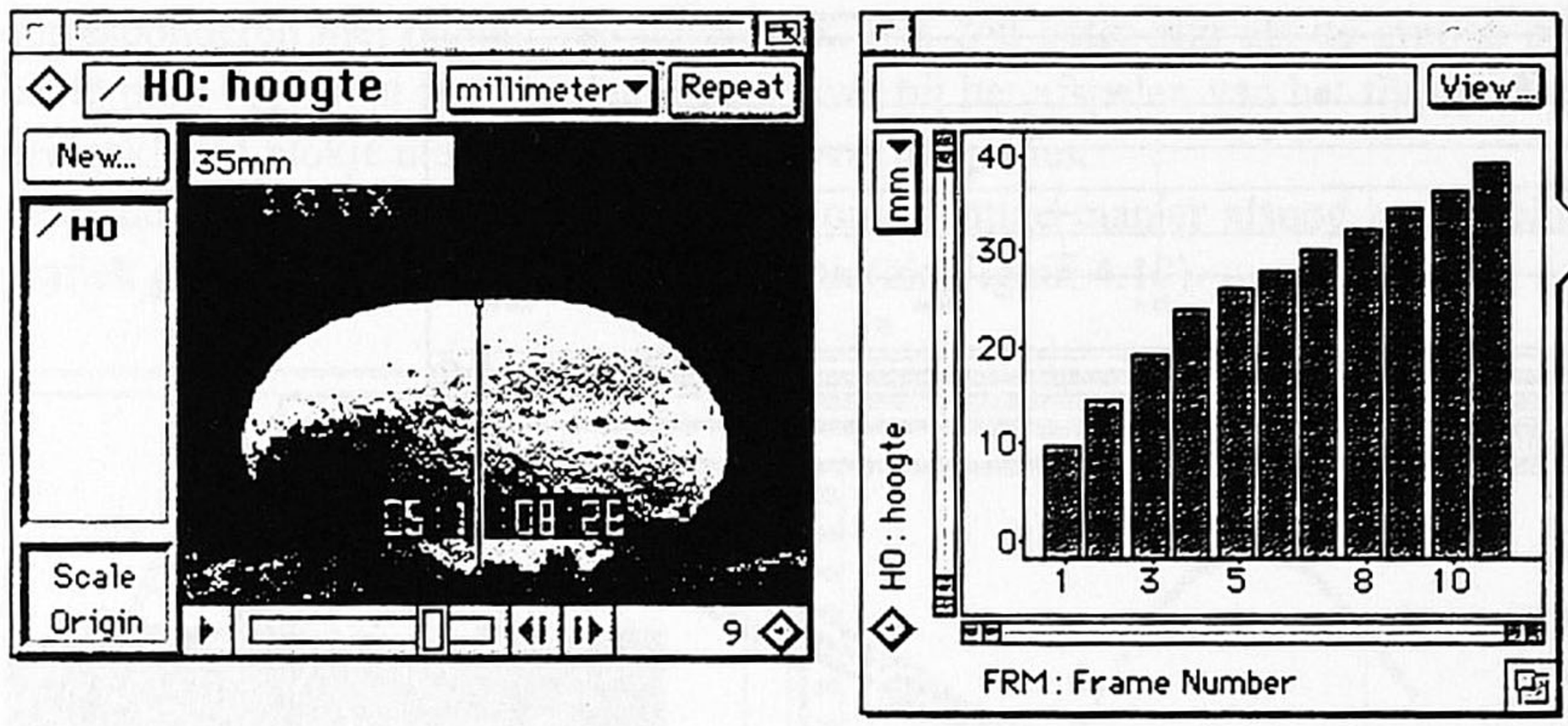
De introductietaak met het televisiefragment is in de tweede ronde vervangen door een klassikale introductie aan de hand van het computerprogramma. Het computerscherm werd groot geprojecteerd. Het beeld toonde - versneld - een opname van de groei van een plantenwortel. De docent liet aan de hand van dit fragment zien hoe de metingen in de filmbeeldjes tot stand waren gekomen en demonstreerde hoe de leerlingen de computer, op basis van die metingen, grafieken konden laten tekenen. Na de klassikale introductie oefenden leerlingen met het maken van grafieken op hun eigen computer.

### *4.6.2 Reuzenrad*

Deze taak was in grote lijnen identiek aan die van de tweede ronde.

### *4.6.3 Champignon*

Centraal in deze nieuwe taak stond een opname van een groeiende champignon, die zo was bewerkt dat het totale filmpje slechts uit 11 beeldjes bestond, afgespeeld met een snelheid van anderhalf beeldje per seconde. Het filmpje is dus heel schokkerig. De staafgrafiek bij dit filmpje - hoogte tegenover framenummer - is afgebeeld in Figuur 4.8.
Het didactische voordeel van een filmpje met zo weinig beeldjes is dat de vorm van de grafiek - in het begin steil en later afvlakkend - direct te koppelen is aan de grootte verschillen tussen de staafjes. In het begin groeit de champignon 4 of 5 mm per beeldje en later vermindert dat tot 2 of 3 mm. Zou het filmpje uit veel meer beeldjes bestaan, en de grafiek dus uit veel meer staafjes, dan zijn de verschillen tussen de staven zo klein dat 'grote' of 'kleine' sprongen op zichzelf niet van elkaar te onderscheiden zijn.
In zekere zin vormt de champignon-taak de kern van de leergang, want het idee dat de steilheid van een grafiek bepaald wordt door de grootte van de verschillen tussen opeenvolgende beeldjes is essentieel voor het kunnen redeneren over de vorm van de grafiek.




Figuur 4.8 Groei van champignon met staafgrafiek

### *4.6.4 Tekenfilm*

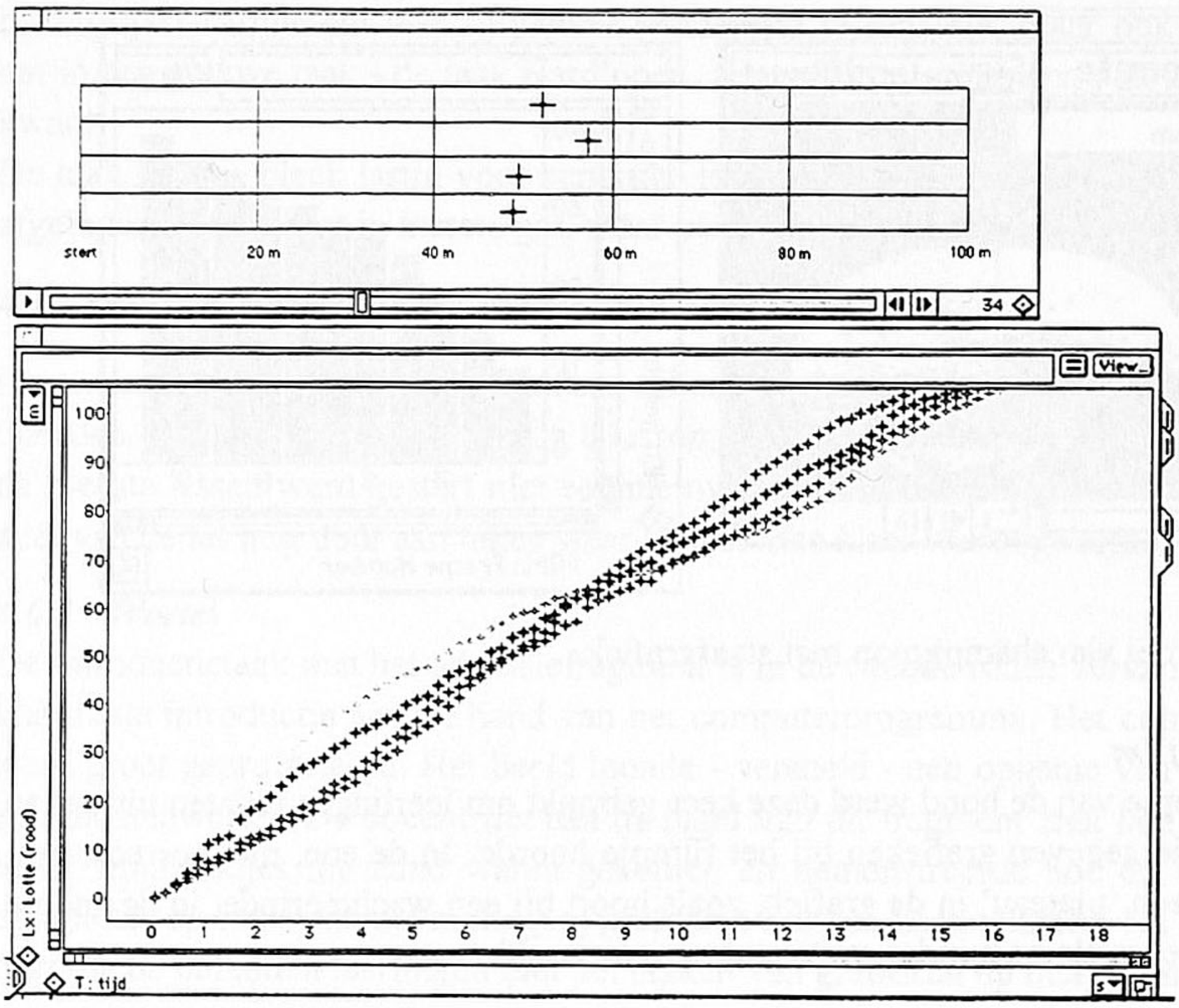
Het tekenfilmpje van de hond werd deze keer gebruikt om leerlingen te laten uitzoeken welke van drie gegeven grafieken bij het filmpje hoorde. In de ene, niet correcte grafiek was er geen 'plateau' in de grafiek, zoals hoort bij een wachtperiode, in de andere grafiek was het steile en minder steile stuk omgewisseld.

### *4.6.5 Hardlopen*

Dit onderdeel was nieuw ten opzichte van de eerste ronde. Op het scherm staat het bovenaanzicht van een atletiekbaan, zie Figuur 4.9. Bewegende kruisjes op de baan laten de wedstrijd zien van vier meisjes: Anouk, Clara, Lotte en Fleur. De leerlingen moeten uitzoeken welk kruisje bij welke naam hoort door de animatie van de wedstrijd te vergelijken met de grafiek. Als vervolg op deze opdracht schrijven de leerlingen een verslag van een wedstrijd tussen vier jongens; nu is alleen de grafiek gegeven, geen filmpje.

De opzet van de taak is dat leerlingen uitvinden (1) hoe versnellen en vertragen weerspiegeld worden in de afstand-tijd-grafiek, en (2) hoe in de grafiek weerspiegeld wordt dat lopers elkaar passeren. De taak leek interessanter dan de taak Passeren uit de eerste ronde, want daarin waren auto's te zien die elk met een constante snelheid reden, terwijl de hardlopers ook versnellen en vertragen.

In de taak Hardlopen wordt het computerprogramma overigens op een wat oneigenlijke manier gebruikt, want de 'lopers' op de baan zijn bewegende meetpunten van Measurement in Motion op een 'filmpje' dat niet meer is dan een tekening van de hardloopbaan.




Figuur 4.9 Hardlopen met lijngrafiek

### *4.6.6 Fietsen*

Ook deze taak was in grote lijnen gelijk aan die van de eerste ronde.

## 4.7 Aanpassingen op basis van de tweede ronde

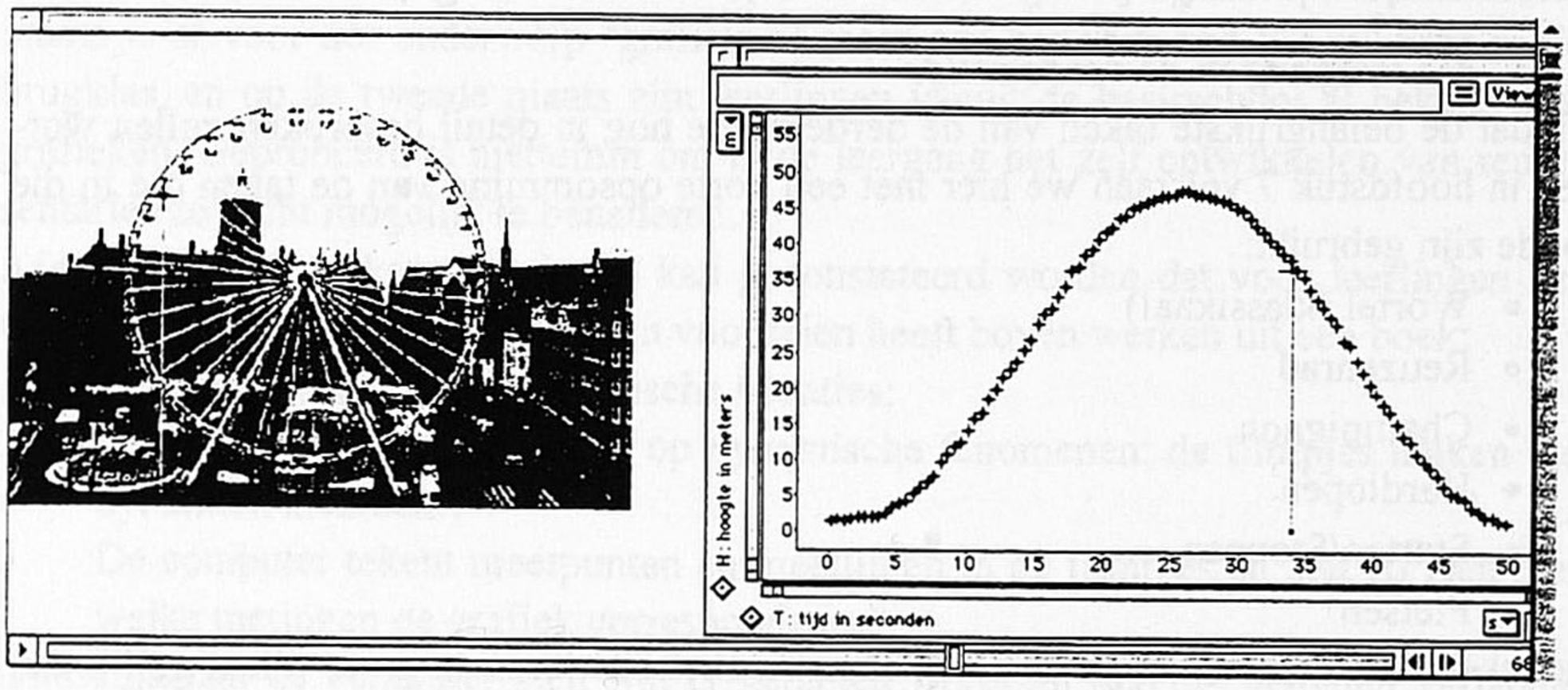
Hardlopen, de nieuwe taak, werd door de leerlingen enthousiast gemaakt en ook goed begrepen. In feite leek het er op dat de leergang als geheel vrij eenvoudig was, waarschijnlijk omdat de leerlingen in het basisonderwijs al redelijk veel aan grafieken gedaan hadden. Omdat dit het vergelijken van de twee condities zou bemoeilijken is voor de derde ronde besloten de vergelijking tussen afstand-tijd-grafieken en snelheid-tijd-grafieken in de derde ronde een belangrijkere plaats te geven. In paragraaf 4.7.2 zullen we dit punt bespreken.

In de tweede ronde viel echter ook op dat sommige leerlingen veel moeite hadden met het interpreteren van de reuzenrad-grafiek. Waarschijnlijk hing dit samen met het statische karakter van de computergrafieken. In paragraaf 4.7.1 wordt beschreven hoe deze taak is aangepast voor de derde ronde.

### *4.7.1 Reuzenrad: een meelopende grafiek*

Een punt van kritiek vanuit de onderzoeksgroep op Measurement in Motion is steeds geweest dat grafieken door het programma niet-dynamisch getekend worden. Als een leerling de variabelen gekozen heeft zet de computer de gevraagde grafiek als een statisch plaatje op het scherm. Hiermee blijft onzichtbaar hoe metingen in de filmbeeldjes

corresponderen met punten van de grafiek. Het zou beter zijn als de grafiek bijvoorbeeld punt voor punt zou worden opgebouwd bij het afspelen van het filmpje, of als er een gekleurd blokje mee zou 'wandelen' over de grafiek.
Voor de derde ronde is op een enigszins omslachtige manier alsnog een meelopende grafiek geconstrueerd bij de Reuzenrad-taak (zie Figuur 4.10).




Figuur 4.10 Reuzenrad op de Dam in Amsterdam

Met behulp van een video-editing-programma is het filmpje van het reuzenrad, samen met een plaatje van de erbij horende grafiek tot één, breed filmpje gecombineerd. Het programma Measurement in Motion tekent in dit filmpje zowel de meetlijnen van het reuzenrad als meetlijnen in de grafiek. Wanneer de film wordt afgespeeld door de beeldje-voor-beeldje-knop rechtsonder ingedrukt te houden loopt de grafieklijn mee met het filmpje. Deze, nogal geforceerde ingreep is alleen gedaan bij de Reuzenrad taak. Gehoopt werd dat leerlingen aan dit ene voorbeeld steun zouden hebben bij het interpreteren van de grafieken in de volgende taken.
Reuzenrad staat op zich overigens enigszins buiten de rest van de taken, want de (sinus-) vorm van de grafiek is gecompliceerd. De nadruk in de taak ligt op het aflezen van de grafiek en op het effect van stilhangen: de grafiek wordt daar horizontaal. Er worden geen vragen over snelheid gesteld.

### *4.7.2 Starten/Stoppen: snelheidsgrafieken*

Besloten is om in de derde ronde het verschil tussen een snelheidsgrafiek en een afstandsgrafiek aan de orde te stellen via filmpjes van een startende en stoppende auto, zie Figuur 3.4 in hoofdstuk 3. Diezelfde filmpjes waren ook in de eerste ronde gebruikt, maar toen alleen met grafieken van afstand ten opzichte van tijd. Een argument om in te gaan op snelheidsgrafieken was dat juist het conflict tussen afstand-tijd en snelheid-tijd nuttig is om te zien wat leerlingen van grafieken begrijpen. Daar kwam na de eerste ronde het argument bij dat leerlingen intuïtief vaak in termen van snelheid bleken te denken, ook als hen gevraagd werd de grafiek van *afstand*-tijd te voorspellen. Met andere woorden, juist de grafiek van afstand-tijd lijkt lastig voor de leerlin-

gen, en niet die van snelheid-tijd. Dit pleit ervoor om het verschil tussen snelheid-tijd en afstand-tijd expliciet aan de orde te stellen.
Een argument om in de derde ronde uitgebreid in te gaan op snelheidsgrafieken was ook dat na de tweede ronde moest worden geconcludeerd dat de leergang misschien te eenvoudig was voor sommige leerlingen: ze leken al zoveel te weten van grafieken dat werken met het pakketje weinig aan hun kennis toe leek te voegen.

### *4.7.3 De leergang in de derde ronde*

Omdat de belangrijkste taken van de derde ronde nog in detail besproken zullen worden in hoofdstuk 7 volstaan we hier met een korte opsomming van de taken die in die ronde zijn gebruikt:

- Wortel (klassikaal)
- Reuzenrad
- Champignon
- Hardlopen
- Starten/Stoppen
- Fietsen

De taken Wortel, Champignon, Hardlopen en Fietsen waren in grote lijnen gelijk aan die uit de tweede ronde. Bij Reuzenrad waren de gestelde vragen min of meer gelijk aan die van de tweede ronde, maar de grafiek werd anders gepresenteerd. In de activiteit Starten/Stoppen werd gebruik gemaakt van de zelfde filmpjes als in de eerste ronde, maar afgezien daarvan was de taak geheel nieuw.

## 4.8 Conclusies

Binnen de setting van het onderzoek - een korte lessenserie in de brugklas - bleken de mogelijkheden van het computerprogramma Measurement in Motion beperkter dan vooraf was ingeschat. Een belangrijk verschil met werken uit een wiskundeboek zou moeten zijn dat de computer leerlingen de gelegenheid biedt om te experimenteren. Measurement in Motion biedt op dat punt meer mogelijkheden dan we konden benutten. Zo is het in principe mogelijk om de computer grafieken te laten tekenen bij elke willekeurige combinatie van variabelen. Gegeven de stof van de leergang moest het aantal variabelen in een taak echter meestal beperkt blijven tot twee of drie - afstand, tijd en eventueel snelheid - wat betekent dat er maar een of twee grafieken mogelijk waren. In de meeste taken was het aantal variabelen beperkt tot twee: afstand en tijd. Omdat er in feite geen betekenisvolle keuzes gemaakt kunnen worden hebben we - behalve bij Starten/Stoppen - de grafieken steeds klaargezet. Het verschil met een in het wiskundeboek afgedrukte grafiek is op deze manier niet zo groot.
Ook is het met Measurement in Motion mogelijk om leerlingen zelf meetpunten te laten zetten. In principe kan het te analyseren videofragment zelfs een eigen opname zijn. Wanneer leerlingen alle stappen zelf doen leidt dat ongetwijfeld tot een beter begrip van de meetprocedure waarop de grafieken berusten, maar een dergelijke opzet zou veel tijd hebben gekost en bovendien zou de nadruk daarmee verschoven zijn naar de techniek, ten koste van de inhoud. De taak die leerlingen nog de meeste experi-

mentatiemogelijkheden bood was de taak Hollen uit de eerste ronde. De ervaring was dat leerlingen bij Hollen tegen allerlei technische problemen aanliepen die op zich niet zo veel te maken hadden met het begrijpen van grafieken.
Terugkomend op paragraaf 4.3 kan gesteld worden dat in de leergang eerder sprake is van het 'ontdekken' van de principes achter grafieken, dan van het zelf 'uitvinden' (reinvention) van die principes. Twee beperkende factoren zijn genoemd: op de eerste plaats is er voor het onderwerp 'grafieken' maar een beperkte tijd beschikbaar in de brugklas, en op de tweede plaats zijn leerlingen vanuit de basisschool al bekend met grafieken. Geprobeerd is niettemin om in de leergang het zelf ontwikkelen van representaties zo dicht mogelijk te benaderen.
Afgezien van deze kanttekeningen kan geconstateerd worden dat voor leerlingen het werken met Measurement in Motion voordelen heeft boven werken uit een boek:

1. De filmbeelden bieden realistische situaties;
2. Grafieken hebben betrekking op dynamische fenomenen; de filmpjes maken die dynamiek zichtbaar;
3. De computer tekent meetpunten en meetlijnen in de filmpjes en laat zo zien met welke metingen de grafiek correspondeert.

Duidelijk laat de computer zien wat er gemeten wordt en hoe die gemeten variabele zich ontwikkelt. Daardoor kunnen leerlingen steeds de link leggen tussen de fenomenen en de grafiek en is het voor de leerlingen dus makkelijker om als het ware 'door' de grafiek naar de situatie te kijken.

# 5 ONTWIKKELEN VAN HET ONDERWIJSPAKKET; STRUCTUUR

## 5.1 Inleiding

De hoofdvraag in het onderzoek heeft betrekking op de mate van structurering in de leerlingtaken. In de eerste helft van dit hoofdstuk wordt beschreven hoe in de verschillende rondes steeds twee versies vergeleken werden: een *minder gestructureerde* versie van de leerlingtaken en een *meer gestructureerde* versie. In de minder gestructureerde versie wordt vrij direct de hoofdvraag gesteld, terwijl in de meer gestructureerde versie deze vraag vooraf wordt gegaan door een aantal opdrachten die de leerling steun zouden moeten bieden. De analyse van protocollen en andere onderzoeksgegevens in de volgende hoofdstukken zal zich vooral richten op het vergelijken van het effect van deze twee versies.
Het al dan niet aanbieden van steunvragen is echter maar een klein aspect van wat onder 'structuur' kan worden verstaan. In vervolg op de discussie over structuur van hoofdstuk 2 bespreken we in dit hoofdstuk ook een aantal andere aspecten:

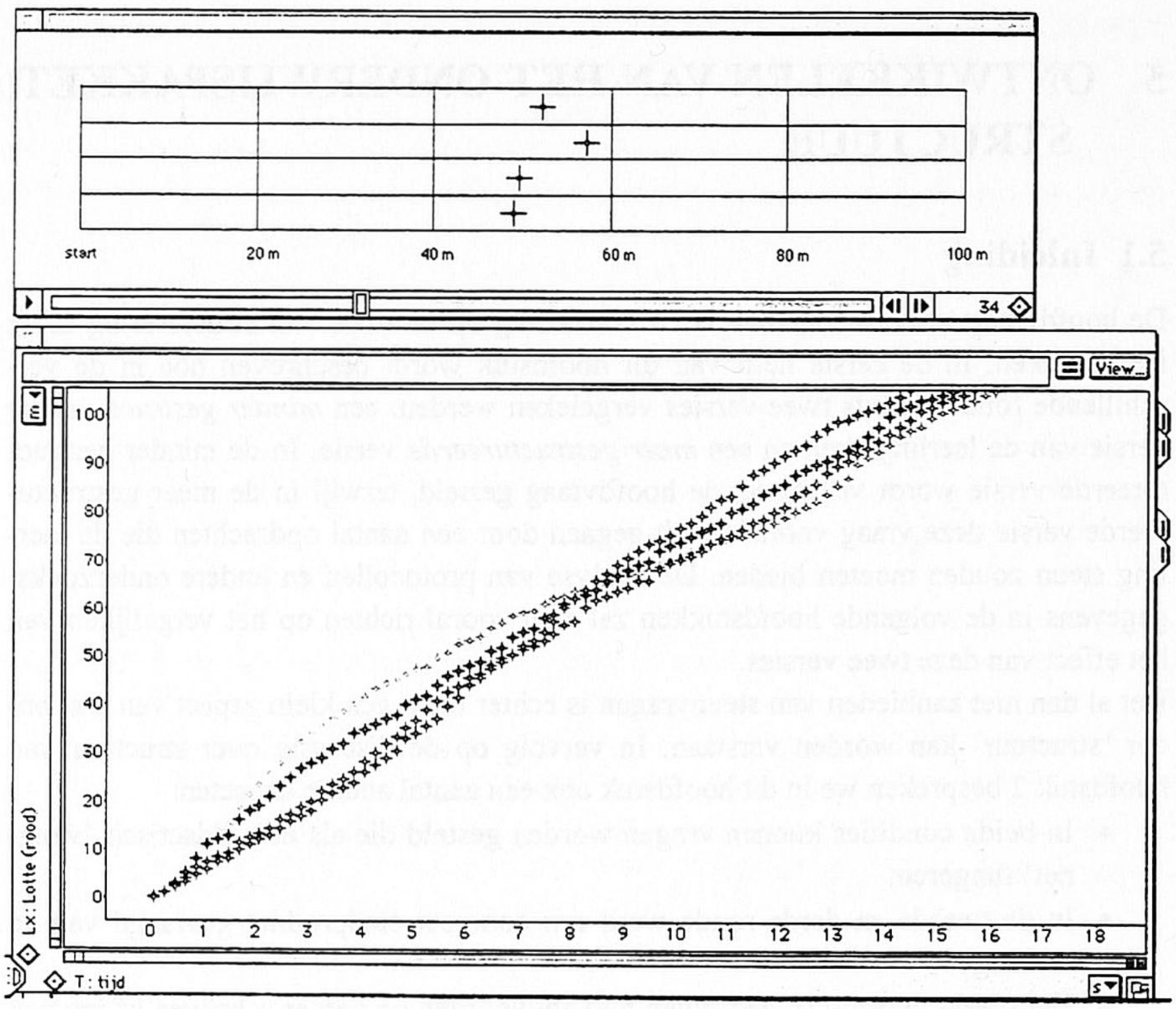
- In beide condities kunnen vragen worden gesteld die als een didactisch 'vangnet' fungeren;
- In de tweede en derde ronde werd een concreet eindproduct gevraagd van de leerlingen;
- Het maakt verschil of leerlingen hun antwoorden op papier schrijven of intypen op de computer;
- De onderzoekster die het experiment in de klassen uitvoerde heeft in de tweede en derde ronde steeds meer de rol van docent genomen.

Op deze punten zijn tussen eerste, tweede en derde ronde veranderingen doorgevoerd. In dit hoofdstuk beargumenteren we deze veranderingen en we bespreken hun effect.

## 5.2 Twee versies van het leerlingmateriaal

### *5.2.1 Hardlopen als voorbeeld*

De meeste leerlingtaken zijn steeds in twee versies gemaakt: een minder gestructureerde versie en een meer gestructureerde versie. In de minder gestructureerde versie wordt vrij direct de hoofdvraag gesteld, terwijl in de meer gestructureerde versie deze vraag vooraf wordt gegaan door een aantal opdrachten die de leerling steun zouden moeten bieden. Het computerscherm was in beide condities identiek: de vragen en opdrachten stonden op papier en niet op het computerscherm. Wij komen daar later in dit hoofdstuk op terug.




Figuur 5.1 Hardlopen met lijngrafiek

Om het verschil tussen de twee versies te verduidelijken bespreken we als voorbeeld het begin van de taak Hardlopen uit de derde ronde. Het scherm voor het eerste deel van de taak is afgebeeld als Figuur 5.1.
Het filmpje toont een hardloopbaan van bovenaf gezien. Het is geen echt filmpje, in die zin dat er geen videobeelden zijn: de bewegende punten worden door het computerprogramma getekend.
De opdracht in de minder gestructureerde versie luidt:

*Onderzoeksopdracht 1*
Zoek uit welk meisje in welke baan loopt. Welke naam hoort bij welk nummer?

Deze ene opdracht in de minder gestructureerde versie – de kernopdracht - correspondeert met zes opgaven in de meer gestructureerde versie. Voorafgaand aan de kernopdracht worden eerst vragen gesteld over het filmpje en – los daarvan - over de grafiek:

1 a. Bekijk het filmpje.
Welk meisje gaat het eerst over de 20 meter lijn? Schrijf het nummer van haar baan op.
b. Blijft dat meisje daarna steeds voorop lopen?

2. Er is een meisje dat eerst helemaal achteraan loopt en dan toch wint. Hoeveel meter heeft ze gelopen als ze voor het eerst iemand inhaalt?

3 a. Kijk nu naar de grafiek. De lijn van Fleur is zwart.
Hoeveel meter heeft Fleur gelopen na 3 seconden?
b. Welk meisje loopt er op dat moment voorop?

4 a. Fleur loopt Anouk voorbij, dat is het meisje van de groene lijn.
Hoeveel meter hebben Fleur en Anouk dan gelopen?
b. Hoeveel seconden hebben ze dan al gelopen?

5 a. Als hoeveelste komt Fleur bij de finish?
b. Welk meisje wint de wedstrijd?

Opdracht 3 vraagt naar de situatie van tijdstip '3 seconden'. We kunnen dit *verticaal aflezen* noemen. Opdracht 4 vraagt naar het aantal meters dat Fleur en Anouk op een bepaald moment gelopen hebben; we kunnen dit *horizontaal aflezen* noemen. Opdracht 4 vestigt bovendien de aandacht op wat er gebeurt bij *elkaar passeren* in de grafiek: de lijnen lopen als het waren over elkaar heen. Vraag 5 tenslotte vestigt de aandacht op de situatie bij de finish. Door horizontaal af te lezen bij 100 meter kan de volgorde van binnenkomst worden vastgesteld.
Pas na deze vijf opgaven wordt de vraag gesteld welk meisje in welke baan loopt:

6. Zoek uit welk meisje in welke baan loopt. Welke naam hoort bij welk nummer?

De vijf extra vragen in de meer gestructureerde versie stellen dus allerlei aspecten van het 'filmpje' en de grafiek aan de orde die de leerlingen kunnen betrekken bij het beantwoorden van de vraag welk meisje in welke baan loopt. Beter is het echter om het andersom te formuleren. Het didactisch doel van de taak Hardlopen is om leerlingen over aspecten van de grafiek te laten nadenken; in de *minder gestructureerde* versie wordt dat gedaan door één vraag - met een soort puzzelkarakter - te stellen en in de *meer gestructureerde* versie wordt dat gedaan door de leerlingen over alle aspecten apart een vraag te stellen.
In hoofdstuk 7 zullen we de twee versies van andere taken bespreken. Steeds is er een vergelijkbaar verschil: de *minder gestructureerde* versie omvat meestal slechts twee of drie opdrachten; in de *meer gestructureerde* versie komen diezelfde opdrachten terug, maar daar wordt elke opdracht ondersteund met een serie kleine vragen vooraf.

### *5.2.2 Voor- en nadelen van de twee versies*

Het voorbeeld van Hardlopen maakt het verschil duidelijk tussen de twee versies. In de minder gestructureerde versie worden leerlingen als het ware direct in het diepe gegooid: de leerlingen moeten de relatie tussen 'filmpje' en grafiek onderzoeken, maar over wat er allemaal in filmpje en grafiek te zien valt worden geen vragen gesteld. In de meer gestructureerde versie worden de leerlingen als het ware aan de hand genomen; allerlei aspecten van filmpje en grafiek komen apart van elkaar aan de orde. Beide versies hebben voor- en nadelen.

Bij de *minder gestructureerde* versie geldt dat de leerlingen zelf mogen bepalen hoe ze het probleem aanpakken. Voordelen hiervan zijn:

- De leerlingen hebben de vrijheid om een aanpak te kiezen die past bij de manier waarop zij de situatie interpreteren en een aanpak die past bij de kennis die ze al hebben.
- Het is voor de leerlingen makkelijker om afzonderlijke deelstappen te plaatsen binnen het kader van de hele taak; het zijn immers door hen zelf gekozen deelstappen.
- De verantwoordelijkheid voor het leerproces wordt zo veel mogelijk bij de leerlingen gelegd.

Een dergelijke open vorm brengt echter ook gevaren met zich mee:

- Het is mogelijk dat leerlingen zo weinig steun krijgen dat ze niet weten hoe ze de opgaven aan moeten pakken;
- Als leerlingen wel een manier zien om het probleem aan te pakken bestaat het gevaar dat ze juist heel gauw met een oplossing komen, zonder dat ze de situatie doordenken op de manier die de onderwijsontwikkelaar voor ogen stond.

In het eerste geval vinden de leerlingen geen oplossing, tenzij de docent/proefleider ingrijpt met extra hulp. In het tweede geval gaan de leerlingen niet, zoals bedoeld, op onderzoek, maar ze formuleren zo snel mogelijk een antwoord. Ze behandelen die ene, meer omvattende opdracht als het ware alsof het net zo'n klein vraagje is als de steunvragen van de meer gestructureerde versie.

Het voordeel van de *meer gestructureerde* versie is dat allerlei aspecten van de te onderzoeken situatie expliciet aan de orde worden gesteld. In principe zou dit ertoe moeten leiden dat de leerling precies het 'hypothetical learning trajectory' (Simon, 1995) volgt dat de ontwerper van de taak voor ogen stond. Het lijkt echter een illusie dat de leerweg van de leerlingen zo precies te sturen zou zijn. Nadelen van de meer gestructureerde versie zijn daarmee:

- De ontwerper kan een ander 'traject' voor ogen hebben dan de leerlingen in feite volgen en biedt daardoor hulp die niet relevant is.
- De leerlingen zien mogelijk niet hoe afzonderlijke deelvragen passen binnen het grotere geheel. Ze richten zich op het beantwoorden van losse vragen, zonder dat ze de relaties zien tussen de vragen.
- De leerlingen worden veel minder gestimuleerd om zelf verantwoordelijkheid te nemen voor hun leerproces.

Met name via de interpretatieve protocolanalyse – zie hoofdstuk 7 - zal geprobeerd worden na te gaan welke veronderstelde voor- en nadelen optreden.

### *5.2.3 De versies in de drie onderzoeksronden*

Voor de eerste ronde was gekozen voor een onderzoeksdesign waarbij leerlingen bij de eerste taken dezelfde versie maakten. Pas bij de derde taak (Reuzenrad) kregen leerlingen verschillende versies. Voor een dergelijke opzet was gekozen omdat we er van uit gingen dat leerlingen eerst een aantal noodzakelijke basisvaardigheden moesten leren met betrekking tot Measurement in Motion voordat een splitsing in een meer en een minder gestructureerde versie zinvol was. De gekozen opzet had echter nadelen. Omdat er geen mondelinge bespreking van het computerprogramma was leidde dit tot starttaken die in feite extreem gestructureerd waren, met lange reeksen opdrachten waarin de verschillende mogelijkheden van het programma werden geïllustreerd. Het kwam er dus op neer dat leerlingen in de minder gestructureerde conditie eerst een serie taken doorwerkten die, wat vorm betreft, min of meer het tegendeel waren van de taken die daarna volgden, met het grote gevaar dat leerlingen de latere 'onderzoeksopdrachten' ook zo zouden behandelen.

In de tweede ronde is gekozen voor een opzet waarbij de docent/onderzoeker eerst een klassikale les wijdde aan het computerprogramma. Hierdoor verviel de noodzaak van oefentaken en in de tweede ronde hebben de leerlingen in de twee condities dan ook vanaf het begin verschillende versies van de opdrachten gekregen.

Ook deze opzet heeft echter tekortkomingen. Bij het bekijken van de videobanden en het leerlingenwerk viel namelijk direct op hoe groot de onderlinge verschillen tussen tweetallen waren. Sommige leerlingen wisten al zoveel van grafieken dat de taken eigenlijk overbodig leken, terwijl andere leerlingen opdrachten doorwerkten zonder een duidelijk besef van waar ze mee bezig waren. In een onderzoek met kleine proefgroepen werken deze verschillen zeer verstorend omdat de invloed van de vaardigheid van individuele leerlingen en die van de vraagvorm niet uit elkaar te halen zijn. Voor het definitieve experiment in de derde ronde is daarom gekozen voor een opzet waarbij de tweetallen halverwege wisselden van de meer naar de minder gestructureerde versies, en andersom. Het bezwaar van de gewenning aan een bepaalde vorm, wat als bezwaar had gegolden bij de eerste ronde, is hiermee weer terug, maar daar staat tegenover dat er een betere vergelijking mogelijk is tussen de condities.

## 5.3 Vangnet-vragen bij de taak Hardlopen

Bij de minder gestructureerde conditie van Hardlopen werd er van uit gegaan dat de vraag welk meisje in welke baan loopt voor leerlingen aanleiding zou moeten zijn om allerlei aspecten van grafiek en filmpje te onderzoeken. We realiseerden ons echter, als ontwerpers, dat de kans groot was dat leerlingen dat niet zo diepgaand zouden doen. Vandaar dat na deze eerste vraag in de minder gestructureerde conditie nog twee andere vragen werden gesteld. In tegenstelling echter tot de extra vragen van de meer gestructureerde conditie die de leerlingen moeten voorbereiden op het beantwoorden van de hoofdvraag, gaat het bij deze vragen om structurering *achteraf:* de vragen dienen

als een soort vangnet voor het geval de leerlingen blijven steken in een te oppervlakkig onderzoek van de grafiek. In navolging van Van den Heuvel-Panhuizen (1996), die het idee van 'vangnet-vragen' bij toetsing introduceert, kunnen we hier van didactische 'vangnet-vragen' spreken.
De tweede opdracht in de minder gestructureerde conditie luidt:

*Onderzoeksopdracht 2:*
Stel je voor dat jij de coach bent van het schoolteam.
Vertel na de wedstrijd elk meisje wat je vindt van de manier waarop ze gelopen heeft.

De kans bestaat dat leerlingen de eerste vraag - welk meisje loopt in welke baan - beantwoorden door maar naar één aspect te kijken, bijvoorbeeld wie er als eerste aankomt. In dat geval dwingt vraag b de leerlingen ook over andere aspecten na te denken. Ook vraag b laat echter nog steeds een ontsnappingsmogelijkheid open, want als leerlingen al hebben uitgezocht welke namen bij welke lopers horen kunnen ze in principe vraag b beantwoorden op grond van het 'filmpje', zonder op de grafiek te letten. Er is daarom nog een derde opdracht. Daarvoor moet een tweede scherm worden geopend met de grafiek van een wedstrijd tussen vier jongens. Dit keer is er geen filmpje. De bijbehorende opdracht luidt:

*Onderzoeksopdracht 3*
Stel je voor dat je verslaggever bent voor de radio. Je begint zo:
"En dan is nu het moment gekomen, luisteraars, van de finale van het hardlopen voor jongens. Wesley, Jop, Pieter en Samir staan klaar. Daar klinkt het startschot ....."
Maak het radioverslag af.
Het verslag moet passen bij de grafiek.

De opbouw van de taak in drie opdrachten, waarbij de tweede opdracht als vangnet dient bij de eerste opdracht en de derde vraag als vangnet bij de tweede lijkt vooral zinvol voor de minder gestructureerde conditie. Om de versies zoveel mogelijk vergelijkbaar te houden zijn opdracht 2 en 3 met nog een paar ondersteunende, kleine vragen echter ook opgenomen in de meer gestructureerde versie van de taak. De volledige teksten van de taken staan in Bijlage I en II.
Samenvattend kan worden gesteld dat de meer gestructureerde versie van Hardlopen leerlingen als het ware op voorhand steun probeert te bieden, terwijl de minder gestructureerde versie vragen heeft die als het ware dienen als een vangnet achteraf. Dat vangnet was niet bedoeld voor het geval de eerste vraag te moeilijk zou zijn, maar voor het geval de eerste vraag niet het didactische effect zou hebben dat met de activiteit werd beoogd. Of de gekozen opbouw van de taak inderdaad het gewenste effect had zullen we bespreken in hoofdstuk 7, aan de hand van de protocollen van de derde ronde.

De geschetste vangnetstructuur kon alleen bij Hardlopen in deze vorm worden gerealiseerd. De andere taken hebben in de minder gestructureerde versie ook meestal twee of drie opdrachten, maar in die opdrachten komen verschillende onderwerpen aan de orde.

## 5.4 Gevraagd eindproduct

In de eerste ronde leek de opbrengst van de minder gestructureerde conditie nogal mager, want leerlingen leverden onvolledig werk in omdat ze te snel vonden dat ze de opdracht hadden uitgevoerd. Dit leidde tot de vraag of de manier waarop de opdrachten waren geformuleerd wel adequaat was: was het voor de leerlingen duidelijk wat er van hen werd verwacht? In eerder onderzoek was gebleken dat het goed werkte als leerlingen gevraagd werd om een welomschreven product af te leveren. Bij de laatste taak van de eerste ronde (Fietsen) is daarom uitgeprobeerd wat het effect was als leerlingen een poster zouden maken met hun onderzoeksresultaten. De ervaringen daarmee waren positief.

In de tweede ronde is deze aanpak zoveel mogelijk doorgetrokken naar alle taken:

- Bij Reuzenrad werd de opdracht gegeven om het antwoord op de vraag hoe lang José boven het paleis uit kon kijken toe te lichten in een *muurkrant*.
- Bij Champignon moest een *verhaal* worden geschreven over de groei van de champignon.
- De resultaten van de Tekenfilm-opdracht moesten worden samengevat in een *brief* aan de eigen wiskundedocent.
- De taak Hardlopen mondde uit in het schrijven van een *verslag voor de schoolkrant* van de wedstrijd tussen de vier jongens.
- De resultaten van Fietsen moesten worden samengevat in een *muurkrant*.

Om de twee condities zo vergelijkbaar mogelijk te houden werd aan de leerlingen in beide condities gevraagd om een dergelijk product in te leveren. Het verschil tussen de twee condities was dat de leerlingen in de minder gestructureerde conditie *alleen* dat product inleverden, terwijl de leerlingen in de meer gestructureerde conditie eerst een aantal vragen beantwoorden en daarna - als speciale 'eindopdracht' - de muurkrant, het verhaal, enzovoort, maakten.

Het laten maken van een concreet product had veel invloed op de gang van zaken in de tweede ronde, want een groot deel van de lesuren ging nu op aan het maken van de eindproducten. Dat bleek niet altijd nuttig bestede tijd. Met name bij de muurkranten werd vaak veel meer tijd gestoken in kleurwerk en versieringen dan in de eigenlijke vragen. Bij de andere taken gebeurde dit echter veel minder en daar was juist vaak te zien dat de concrete opdracht richting gaf aan de discussies tussen de leerlingen.

Een van de conclusies na de tweede ronde was dat ook het maken van muurkranten en dergelijke iets is wat geleerd moet worden. De leerkracht moet samen met de leerlingen normen ontwikkelen over de uitvoering, bijvoorbeeld dat een nette verzorging op prijs wordt gesteld, maar kleurwerk en versiering dat geen relatie met de inhoud heeft niet. Binnen de context van het experiment was het niet goed mogelijk om zulke nor-

men te ontwikkelen. Er was immers geen klassikale bespreking van het leerling-werk en bijsturing kon dus alleen via individueel commentaar van de docent/proefleider. Overigens realiseerden we ons ook dat de opdracht om een muurkrant te maken dubbelzinnig was: een muurkrant zou moeten worden opgehangen en besproken met de klas, maar binnen het onderzoek was dit niet goed mogelijk.
Een tweede conclusie was dat het blijkbaar nauw luistert wat voor product men de leerlingen laat maken. Een 'muurkrant' of 'poster' heeft de connotatie van iets dat er mooi uit moet zien, ingekleurd en versierd, zodat het gevaar dreigt dat de aandacht verschuift van de inhoud naar de vormgeving. Besloten werd om in de derde ronde de nadruk te leggen op het computerprogramma Measurement in Motion als middel om dingen te onderzoeken en de leerlingen in de minder gestructureerde conditie te vragen hun bevindingen in een 'onderzoeksverslag' samen te vatten.

## 5.5 Schrijven of typen?

Bij de ontwikkeling van de leerling-taken is steeds een discussiepunt geweest in hoeverre naast de computer ook pen en papier zouden worden gebruikt. In eerste instantie was het de bedoeling om de leerling-opdrachten via de computer te geven, net als bij de taken op de CD-rom die bij Measurement in Motion wordt meegeleverd. Een nadeel was echter dat de teksten dan heel beknopt zouden moeten blijven of over een aantal verschillende schermen zouden moeten worden gespreid. Uiteindelijk is er voor gekozen om op het computerscherm steeds alleen een filmpje te zetten plus de eventueel al klaargezette grafieken. Alle teksten - toelichting en opdrachten - kregen de leerlingen op papier.
Voor wat betreft de antwoorden was het onvermijdelijk dat de leerlingen tenminste een deel van hun werk, namelijk het tekenen van grafieken, op werkbladen zouden moeten doen. In de eerste ronde werd het aan de leerlingen overgelaten of ze hun andere antwoorden in een tekstveld op het scherm typten, of opschreven op papier. Een voordeel van het typen op de computer bleek dat de teksten veel meer een gezamenlijk product werden. Over het algemeen had degene die muis en toetsenbord bediende de meeste inbreng in de formulering van de antwoorden, maar bijna altijd las de tweede leerling de antwoorden mee op het scherm en gaf suggesties voor aanvullingen of verbeteringen.
In de tweede ronde werd om deze reden de leerlingen gevraagd om hun teksten steeds op de computer te typen. Dat had bij sommige tweetallen echter niet het gewenste gevolg. Het kwam voor dat een van de twee leerlingen verder werkte aan het te leveren eindproduct - tekenen, plakken, kleuren - terwijl de andere leerling nieuwe teksten schreef. Ook het feit dat in de tweede ronde elk tweetal maar over één exemplaar van de opdrachten beschikte zorgde er soms voor dat er weinig samengewerkt werd, als we althans het verdelen van het werk tussen de leerlingen niet als samenwerkend leren beschouwen. Soms las de ene leerling de tekst hardop terwijl de andere leerling met de computer bezig was en niet erg leek te luisteren; soms las de leerling de tekst stil voor zichzelf en zei dan tegen de ander wat er gedaan moest worden.

Een complicatie was dat het afdrukken van tekstvelden in Measurement in Motion niet goed werkte. De teksten werden daarom getypt in het venster van een aparte tekstverwerker. Dit moeten wisselen tussen verschillende vensters bleek heel storend.
In de derde ronde, dus in het uiteindelijke onderzoek, is gekozen voor een opzet waarbij beide leerlingen de vragen en opdrachten op papier hadden en elke leerling ook zijn eigen antwoorden moest inleveren. De antwoorden mochten op papier worden geschreven. Over het algemeen zorgt zo'n vorm ervoor dat beide leerlingen actief betrokken zijn, terwijl ze, als samenwerken wordt aangemoedigd, toch min of meer dezelfde antwoorden inleveren.

## 5.6 Rol van de docent

Uitgangspunt in de eerste en tweede ronde was dat leerlingen de taken in principe helemaal zelfstandig zouden doen. Alle uitleg die nodig was stond op papier en ook de inleidingen bij de verschillende taken - bijvoorbeeld het verhaal over José die naar de kermis gaat - stonden in het leerlingmateriaal. Er waren twee argumenten voor deze opzet:

- Centraal in de vraagstelling van het onderzoek staat het zelfstandig leren. Measurement in Motion wordt gezien als voorbeeld van een computerprogramma waarmee leerlingen min of meer zelfstandig op onderzoek kunnen gaan.
- De twee experimentele condities moesten tegelijkertijd in hetzelfde lokaal worden gerealiseerd.

Ook de uitleg van het computerprogramma stond op papier, in de vorm van toelichtingen tussen de opdrachten plus een uitgebreide beschrijving op een 'hulpkaart'. De introductie in de eerste les was het enige klassikale moment in de eerste en tweede ronde.
Het feit dat er in de eerste ronde alleen schriftelijke instructie was over het omgaan met het computerprogramma bleek een struikelblok. Leerlingen lazen de hulpkaart niet goed of begrepen de tekst niet en ze vroegen de docent/proefleider dus vaak om hulp. In de tweede ronde is daarom de oorspronkelijke introductie - aan de hand van een fragment uit een programma van 'Discovery Channel' - vervangen door een klassikale demonstratie van het computerprogramma zelf. Het computerscherm werd met een videobeamer groot geprojecteerd. De docent deed eerst een aantal dingen voor en daarna mochten de leerlingen hetzelfde uitproberen op hun eigen computer. In de lessen daarna hadden de leerlingen nog steeds de beschikking over een hulpkaart, maar deze was voor de leerlingen nu veel begrijpelijker omdat ze al een beeld hadden van wat er mogelijk was met het programma.
De introductie van de taken zelf gebeurde in de tweede ronde nog steeds alleen via het schriftelijk materiaal. Dit had een weinig bevredigend effect: de inleidende verhaaltjes werden snel doorgelezen en soms maar door één van de twee leerlingen. De functie van die verhaaltjes is:

- een context schetsen voor de vragen en opdrachten; leerlingen moeten hun kennis van de situatie inzetten bij het oplossen van de opdrachten;

- leerlingen motiveren; het gaat in principe steeds om realistische vraagstellingen.

Het was echter alsof de leerlingen de geschreven verhaaltjes alleen als versiering beschouwden. In de derde ronde is er daarom voor gekozen om de docent elke taak te laten introduceren in een korte, klassikale bespreking. Er is dus voor het definitieve experiment teruggegaan naar een vorm die dichter ligt bij wat gebruikelijk is in de wiskundelessen

In de eerste ronde werd het werk van de leerlingen niet systematisch nagekeken en beoordeeld. De leerlingen wisten alleen dat de lessenserie zou worden afgesloten met een proefwerk. Omdat het leek alsof de leerlingen in die eerste ronde na verloop van tijd minder serieus te werk gingen is in de tweede en derde ronde gekozen voor een meer schoolse opzet waarbij de tweetallen steeds werk inleverden en daar een punt voor kregen dat meetelde in het eindcijfer.

## 5.7 Conclusies

Het onderzoek in de derde ronde dat in de volgende hoofdstukken wordt besproken heeft zich toegespitst op het effect van twee verschillende versies van het leerlingmateriaal, een versie met alleen de kernopdrachten en een versie met ondersteunende kleine vragen bij elke kernopdracht. Aan de hand van de taak Hardlopen is in dit hoofdstuk besproken hoe de twee versies van elkaar verschillen.

Naast de structurering via steunvragen bleek ook een vorm van structurering mogelijk die we structurering via vangnet-vragen hebben genoemd. In dit geval gaat het niet om structurering vooraf – ondersteunende vragen die de leerling moeten voorbereiden op de latere kernvraag – maar om structurering achteraf via vragen die de leerling dwingen om zich te bezinnen op bepaalde aspecten van de situatie waar de leerling misschien nog niet spontaan bij het maken van de eerste opdracht over na heeft gedacht. Deze vorm van structurering kon worden ingebouwd bij de taak Hardlopen.

In de loop van het onderzoek is duidelijk geworden dat andere structuuraspecten in de onderwijssituatie mede een bepalende rol spelen. Zo lijkt het van belang welk eindproduct van leerlingen wordt gevraagd. In de tweede ronde maakten de leerlingen als afsluiting van de serie opdrachten steeds een concreet eindproduct: een muurkrant, een brief, een verslag. Een conclusie is dat het nauw luistert wat precies gevraagd wordt. Een 'muurkrant' bijvoorbeeld heeft voor leerlingen de connotatie van iets dat er mooi uit moet zien, met als gevolg dat veel tijd wordt besteed aan inkleuren en versieren, los van de inhoud van de taak. Blijkbaar is het nodig dat leerlingen samen met de leerkracht normen ontwikkelen over wat kern en bijzaak is bij dergelijke opdrachten.

Ook maakt het verschil of leerlingen hun antwoorden op de computer typen of opschrijven op papier, want dit heeft invloed heeft op de manier waarop ze samenwerken. Onze bevindingen op dit punt zijn niet eenduidig. In de eerste ronde leek het typen van antwoorden op de computer positief te werken: de leerling die niet typte las de teksten mee en gaf commentaar of stelde een andere formulering voor. In de tweede ronde leidde het typen op de computer echter soms tot een taakverdeling waarbij de

ene leerling de vragen beantwoordde en de andere leerling bezig was met het afmaken van het eindproduct van een eerdere taak.
Tenslotte werd in de loop van het onderzoek duidelijk dat het wenselijk is om de leerkracht een belangrijke rol te laten houden bij het oriënteren van de leerlingen op de taak. In de eerste en tweede ronde werden de taken geïntroduceerd via korte, inleidende tekstjes op papier, maar deze bleken door de leerlingen slecht gelezen te worden. In de derde ronde is er voor gekozen de docent/onderzoekster de taken steeds te laten introduceren via een korte, klassikale bespreking. De schriftelijke introductie van het computerprogramma zelf is na de eerste ronde vervangen door een klassikale demonstratie.
Het werken aan de computertaken staat niet op zichzelf. Hoe de leerlingen de taak aanpakken hangt af van de opvattingen van de leerkracht over het doel van de activiteit, over wat er van hun verwacht wordt en waar ze op worden 'afgerekend'.
Welke normen hiervoor leerlingen en docent gelden wordt in een proces van 'negotiation' bepaald. Onder 'negotiation' wordt in dit verband als onderlinge afstemming verstaan. Het is immers niet zo dat de docent kan volstaan met meedelen wat de normen zijn. De leerlingen zullen in de praktijk moeten ervaren wat de verbale richtlijnen precies inhouden. In hoeverre dit duidelijk wordt hangt af van de bijdragen van de leerlingen. Zolang zij bijvoorbeeld niet met uitwerkingen komen die voldoen aan de verwachtingen van de docent, kan deze ook geen leerling-werk ten voorbeeld stellen. Hij of zij kan slechts aanwijzingen geven van de richting waarin de uitwerkingen dienen te veranderen. Het gaat hier dus om een proces van lange adem dat de duur van het onderhavige onderzoekproject overstijgt.

# 6 RESULTAAT VAN TOETSEN EN WERKSTUKKEN

## 6.1 Inleiding

In hoofstuk 3 is de opzet van het onderzoek beschreven. In dit hoofdstuk zullen we de resultaten op de toetsen en werkstukken van de leerlingen bespreken.
De opzet van het onderzoek in de derde ronde is weergegeven in Tabel 6.1. Ten opzichte van hoofdstuk 3 hebben we hier twee taken weggelaten. Bij deze twee taken (Champignon en Fietsen) bleek het moeilijk om twee verschillende versies in mate van structurering te maken. We beperken ons tot drie taken bij de kwalitatieve analyses mede vanwege de uitgebreidere analyses op deze taken dan was voorgenomen.

Tabel 6.1 Opzet van taken en toetsen

| | Groep A:<br>drie tweetallen | Groep B:<br>vier tweetallen |
|---|---|---|
| | Voortoets en schoolcijfers | Voortoets en schoolcijfers |
| taken:<br>Reuzenrad (MiM2)<br>Hardlopen (MiM4) | Minder gestructureerde versie:<br>S- | Meer gestructureerde versie:<br>S+ |
| | Tussentoets | Tussentoets |
| Wisseling van conditie tussen de twee groepen | | |
| taken:<br>Starten/Stoppen met auto (MiM5) | Meer gestructureerde versie:<br>S+ | Minder gestructureerde versie: S- |
| | Eindtoets | Eindtoets |

S- = minder gestructureerde versie
S+ = meer gestructureerde versie

Voor we nagaan of er verschillen tussen de twee groepen leerlingen zijn, zullen we eerst de betrouwbaarheid van de toetsen bespreken.

## 6.2 Betrouwbaarheid van de scoringen

### Toetsen

De scoring van de toetsen is op een driepuntsschaal gedaan: 0 = niet goed gedaan; 1 = niet helemaal goed gedaan; 2 = goed gedaan; 99 = niet gedaan (missing). Deze scoring is toegepast op het antwoord op iedere vraag of opdracht van de toets.
De beoordeling van de toetsen is door twee deskundigen (wiskunde bevoegdheid met onderwijservaring) gedaan. De interbeoordelaar betrouwbaarheid bij de voortoets is laag (Cohen's kappa = .35). De correlatie tussen de scores is echter .86. Dit betekent dat zij wel overeenkomstig de opdrachten van de toetsen hebben gerangordend maar dat de hoogte van de scoring verschilde.

De interbeoordelaar betrouwbaarheid bij de tussentoets heeft een Cohen's kappa van .56. Ook hier vinden we een verschil in hoogte tussen de scoringen van de beide beoordelaars. Aangezien de correlatie tussen de scores ook hier vrij hoog is, is de gemiddelde score van de twee beoordelaars gebruikt.
De interbeoordelaar betrouwbaarheid bij de natoets heeft een Cohen's kappa van .76. De correlatie tussen de beide beoordelaars is hier eveneens significant.
Vanwege de significante correlaties tussen de beide beoordelaars, maar gedeeltelijk lage kappa's, is in de verdere procedure de gemiddelde score van beide beoordelaars voor de toetsen gebruikt.

**Correlaties tussen de toetsen**
De correlaties tussen de drie toetsen zijn weergegeven in Tabel 6.2.

Tabel 6.2 Overzicht van correlaties tussen toetsen

| toetsen | correlatie | N | p |
|---|---|---|---|
| voortoets x tussentoets | .63 | 13 | .02 |
| tussentoets x natoets | .61 | 13 | .03 |
| voortoets x natoets | .46 | 14 | .10 |

De significante correlaties tussen twee in de tijd opeenvolgende toetsen geeft voor de toetsen een redelijke betrouwbaar beeld.

**Taakopdrachten**
Het leerling-werk bij de drie MiM-taken dat wij hier vermelden is op dezelfde wijze als de toetsen beoordeeld. Hier is ook op een driepuntsschaal (0 = fout; 1 = half goed; 2 = goed) gescoord. De Mim-taken zijn echter gemaakt in tweetallen en deze taken verschillen in aantallen opdrachten per conditie. In de meer gestructureerde conditie zijn steunopdrachten aangeboden naast de voor beide groepen gemeenschappelijke kernopdrachten.
Per taak zijn in het algemeen twee gemiddelde scores uitgerekend, een voor het interpreteren van een grafiek en een voor het tekenen van een grafiek. Bij MiM2, de taak met het Reuzenrad bestaan de te scoren onderdelen voor het interpreteren uit: aflezen hoogte; aflezen tijd; aflezen tijd totaal van 1 rondje; aflezen en berekenen tijd van stoeltje hoger dan 30 meter; tijd bovenaan stoppen; tijd onderaan stilstaan; totale tijd rondje in- en uitstappen.
Aangezien de manier van scoren van het leerling-werk en de toetsen sterk overeen kwam en de betrouwbaarheid inmiddels voldoende groot was geworden, is de scoring van het leerling-werk om tijdsredenen door één persoon gedaan. Wel is deze scoring gedaan door de beoordelaar die het hoogste scoorde. Hierdoor vallen de scores op de opdrachten mogelijk iets hoger uit dan de scores op de toetsen.

## 6.3 Vergelijking tussen de twee groepen

**Schoolcijfers**

Voor de controle op de indeling van de groepen zijn de schoolcijfers voor wiskunde van twee rapporten gebruikt De twee groepen verschillen niet op de wiskundecijfers (Mann-Whitney U-test; p = .85).

**Drie toetsen**

Vervolgens zullen we de verschillen tussen de twee condities toetsen op de voor-, tussen-, en natoets. We gebruiken hiervoor vanwege de geringe aantallen de non-parametrische Mann-Whitney U-test.

Tabel 6.3 Toetsing van verschillen tussen de drie toetsen

| | structuur versies | N | Mean Rank | Mean | Sd | p (sign.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| voortoets | groep A: S-/S+ | 6 | 6,50 | 1,39 | 0,21 | |
| | groep B: S+/S- | 8 | 8,25 | 1,47 | 0,30 | |
| | Totaal | 14 | | | | .49 |
| tussentoets | groep A: S- | 5 | 6,90 | 1,60 | 0,57 | |
| | groep B: S+ | 8 | 7,06 | 1,61 | 0,45 | |
| | Totaal | 13 | | | | .94 |
| | | | wisseling van conditie | | | |
| natoets | groep A: S+ | 6 | 6,17 | 1,42 | 0,19 | |
| | groep B: S- | 8 | 8,50 | 1,54 | 0,29 | |
| | Totaal | 14 | | | | .35 |

S- = minder gestructureerde versie
S+ = meer gestructureerde versie

Uit Tabel 6.3 blijkt dat er geen significante verschillen tussen de drie toetsen bestaan. Dit betekent dat er geen duidelijk leereffect is van het meer of minder gestructureerd zijn van de MiM-taken. Ook de volgorde van eerst meer gestructureerde taken (bij MiM2 en MiM4) en vervolgens minder gestructureerd taken (MiM5) en omgekeerd heeft geen effect. Groep B, die met de gestructureerde versies begint, scoort iets hoger op de voortoets, maar dit verdwijnt bij de tussentoets. Bij de natoets scoort de groep B die dan met de minder gestructureerde versie van MiM5 heeft gewerkt zelfs iets hoger dan de groep die met de meer gestructureerde versie heeft gewerkt.

De scores lopen van 0 tot 2, waarbij 2 de maximale score voor alles goed is. Uit de tabel blijkt dat de leerlingen gemiddeld redelijk goed scoren. Op een 10-puntsschaal zouden we kunnen zeggen dat de leerlingen tussen een 7 en 8 scoren.

## 6.4 Toetsing van verschillen bij taakopdrachten

a) In Tabel 6.4 zijn de gemiddelde scores (van 0 = niet goed tot 2 = goed) weergegeven. Vanwege de geringe aantallen en in veel gevallen de afwezigheid van varianties is toetsing niet op zijn plaats. Bij inspectie van de tabel valt op dat het in-

terpreteren van de vorm van de grafieken bij MiM5 (auto met Starten/Stoppen) in groep B (S-) veel slechter gaat. Deze groep B had bij de taken Reuzenrad (MiM2) en Hardlopen (MiM4) eerst meer structuur en bij de taak MiM5 (Starten/Stoppen) minder structuur gekregen.

Tabel 6.4 Resultaten van twee condities op drie MiM-taken

| | structuur versies | N | Mean | Std. Dev. |
|---|---|---|---|---|
| aflezen en berekenen tijd hoger dan dertig meter | S- | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM2 09/05 | S+ | 7 | 1,71 | 0,76 |
| rondje in- en uitstappen | S- | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM2 02/08 | S+ | 7 | 1,14 | 1,07 |
| zoek uit welk meisje in welke baan | S- | 6 | 1,33 | 1,03 |
| MiM4 21/10 | S+ | 7 | 2,00 | 0,00 |
| coach schoolteam, uitleg | S- | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM4 22/13 | S+ | 7 | 2,00 | 0,00 |
| verslaggever radio jongenswedstrijd | S- | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM4 23/20 | S+ | 7 | 2,00 | 0,00 |
| vorm van grafiek, afstand auto 1 | S+ | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM5 21a/03 | S- | 8 | 0,50 | 0,93 |
| vorm van grafiek, snelheid auto 1 | S+ | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM5 21b/07 | S- | 8 | 0,00 | 0,00 |
| vorm van grafiek, afstand auto 2 | S+ | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM5 21c/11 | S- | 8 | 0,25 | 0,71 |
| vorm van grafiek, snelheid auto 2 | S+ | 6 | 1,33 | 1,03 |
| MiM5 21d/14 | S- | 8 | 0,00 | 0,00 |
| grafiek afstand-tijd auto 30 km/u | S+ | 6 | 0,67 | 1,03 |
| Mim5 22/17 | S- | 8 | 0,63 | 0,92 |
| grafiek snelheid-tijd auto 30 km/u | S+ | 6 | 2,00 | 0,00 |
| MiM5 23/18 | S- | 8 | 2,00 | 0,00 |

Een t-test kan niet berekend worden vanwege een standaard deviatie van 0.
S- = minder gestructureerde versie. S+ = meer gestructureerde versie.

Voor dit effect zijn twee mogelijke interpretaties.

b) Groep A, die bij MiM5 beter presteert, heeft eerst taken met weinig structuur gehad. Nu zij bij MiM5 komen hebben zij geleerd om een moeilijke taak toch goed aan te pakken. Groep B was gewend aan veel structuur en kreeg nu bij MiM5 weinig structuur. Daar waren zij niet op voorbereid en faalden.

De taak Starten/Stoppen (MiM5) is bij bepaalde opdrachten zo moeilijk dat hij zonder de steunopdrachten door deze leerlingen niet goed te maken is.

Alhoewel in de literatuur soms enige evidentie voor interpretatie a) is te vinden, o.a. in het proefschrift van Van der Ven (1998), nemen wij op grond van de analyse van de protocollen (zie Hoofdstuk 7) hier aan dat interpretatie b) meer waarschijnlijk is. Opmerkelijk is wel dat deze groep B met S- bij de natoets iets hoger scoort en dus zeker

niet minder heeft geleerd. De natoets is voor groep A en B gelijk en vertoont gedeeltelijk een redelijke overeenkomst met de MiM-taken uit het tweede deel van de leergang.
Naar aanleiding van Tabel 6.4 kan opgemerkt worden dat de scoring van de uitwerking van de taken in het leerlingmateriaal vrij hoog is. Gedeeltelijk is dit veroorzaakt doordat bij de scoring alleen gekeken is of aan een specifieke vraag in de opdracht is voldaan. In het leerling-werk kunnen zo fouten of onnauwkeurigheden voorkomen die niet direct in de scoring tot uiting komen maar die wel bij de interpretatieve analyse in hoofdstuk 7 in par. 7.5.5 beschreven worden.
Bij de MiM5 taak (Starten/Stoppen met auto) blijken de leerlingen op de eerste vier opdrachten (beginnend met 21) in de conditie met meer structuur het beduidend beter te doen dan de groep die minder structuur in de opdrachten kreeg aangeboden. Bij Mim5 22/17 (grafiek afstand-tijd auto 30 km/u) doen beide groepen het slecht. De opdracht hier is om, nadat zij de snelheid-tijd grafiek hebben getekend, de globale vorm van een afstand-tijd grafiek te tekenen. Hierin faalden de meeste leerlingen. In hoofdstuk 7 wordt hierop terug gekomen.
Samenvattend kan naar aanleiding van Tabel 6.4 gezegd worden dat de scores op de eerste twee taken hoog zijn en de laatste taak (MiM5) voor de groep met minder structuur te moeilijk is waar het het interpreteren van de vorm van de grafiek betreft. Bij MiM5 (Starten/Stoppen) is wel de snelheidsgrafiek in beide groepen goed gemaakt.

## 6.5 Conclusie en discussie

In dit hoofdstuk zijn de resultaten op de toetsen en het leerling-werk bij de drie MiM-taken besproken. De drie toetsen en de beantwoording van de opdrachten bij de taken zijn gescoord op driepuntsschalen. De leerlingen verschillen niet in hun prestaties op de voor-, tussen- en natoets. Bij het leerling-werk op de MiM-taken is er alleen een duidelijk verschil bij de taak MiM5 (Starten/Stoppen met auto). De groep met de minder gestructureerde MiM5-taak scoort op de interpretatie en het tekenen van de afstand-tijdgrafiek bij de eerste vier kernopdrachten slechter dan de groep met de meer gestructureerde versie. Opmerkelijk genoeg is er geen verschil en scoren allebei de groepen goed bij de snelheid-tijdgrafiek. Deze wordt in principe als moeilijker gezien dan een afstand-tijdgrafiek. Ook is er geen verschil tussen de beide groepen op de natoets, waarin getoetst wordt in soortgelijke opdrachten wat de leerlingen geleerd hebben. Beide groepen scoren hier relatief goed. In hoofdstuk 7 wordt aangegeven dat de opdracht in de MiM5-taak waarin gevraagd wordt de globale vorm van een afstand-tijdgrafiek te tekenen, voor problemen zorgde. De leerlingen wilden een afstand-tijdgrafiek tekenen die precies overeen kwam met de snelheid-tijdgrafiek.
Tot slot kan gemeld worden dat de scores op de toetsen en de MiM-taken in het algemeen hoog waren. De taken zijn met uitzondering van een deel van de MiM5-taak, door de leerlingen goed gemaakt. Het onderdeel grafieken uit de methode van het eer-

ste jaar vo kan succesvol vervangen worden door de leergang met het programma Measurement in Motion en de daarbij gemaakte taken.

In de aanvankelijke opzet van het onderzoek was voorzien dat in de derde ronde met één versie van de taken gewerkt zou worden. Na twee ronden bleken wij echter nog niet het optimale punt van structurering gevonden te hebben. Met name het gevonden verschil tussen de twee condities, waarbij in de meer gestructureerde versie de leerlingen zich soms alleen bezig hielden met het beantwoorden van de subvragen en het totale probleem uit het oog verloren (atomisering van de taak), terwijl leerlingen in de minder gestructureerde versie zich soms te snel tevreden stelden met een gegeven antwoord zonder de beschreven situatie voldoende te exploreren, gaf ons aanleiding om in de derde ronde toch twee versies te gebruiken.
De conclusie op basis van de beoordeling van de toetsen en de prestaties bij de drie MiM-taken waarin een verschil in mate van structurering in de opdrachten is aangebracht, moet luiden dat de verschillen in structuur nauwelijks invloed op de prestaties hebben gehad.
In de volgende twee hoofdstukken zullen we ingaan op de kwalitatieve analyse van het gedrag van de leerlingen. In hoofdstuk 7 wordt het gedrag vooral vakinhoudelijk beoordeeld en in hoofdstuk 8 wordt de structuur van het probleemoplossen geanalyseerd.

# 7 INTERPRETATIEVE PROTOCOLANALYSE

## 7.1 Onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk staat de vraag centraal welke invloed meer of minder structuur heeft op het leerproces van de leerlingen. Dit wordt onderzocht door het analyseren van uitgeschreven protocollen van de gemaakte video-opnamen. Met name zal worden gezocht naar momenten in de protocollen waarin voor- of nadelen van een van de twee versies duidelijk naar voren komen.
Eerder, in hoofdstuk 5, zijn mogelijke voor- en nadelen van de meer en de minder gestructureerde versies geformuleerd. Het is denkbaar dat de *minder* gestructureerde versie leerlingen op twee manieren in problemen brengt:

- leerlingen krijgen zo weinig steun dat ze niet weten hoe ze de opgaven aan moeten pakken;
- leerlingen komen juist veel te gauw met een oplossing, zonder dat ze de situatie doordenken op de manier die de onderwijsontwikkelaar voor ogen stond.

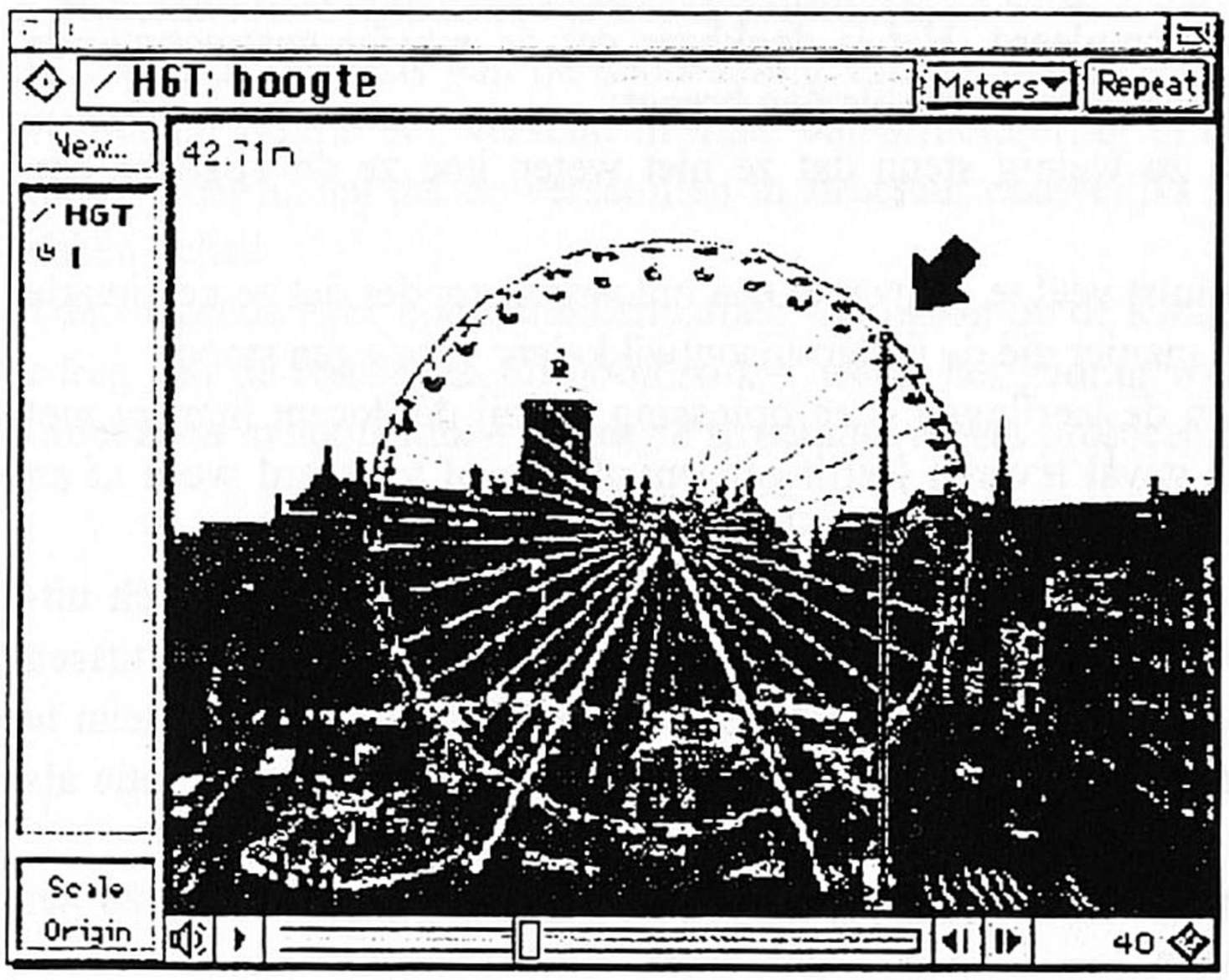
In het eerste geval vinden de leerlingen geen oplossing, tenzij de docent ingrijpt met extra hulp. In het laatste geval leveren leerlingen onvolledig of verkeerd werk af en worden de didactische bedoelingen van de ontwikkelaar niet gerealiseerd.
Het risico van de *meer* gestructureerde versie daarentegen is dat leerlingen zich uitsluitend richten op het beantwoorden van losse vragen, zonder dat ze de relaties tussen de vragen zien. De extra vragen en opdrachten, die eigenlijk bedoeld zijn om steun te bieden, weerhouden leerlingen er van om zich een beeld te vormen van de situatie als geheel.
Dit leidt tot de volgende onderzoeksvragen met betrekking tot de protocollen van het overleg tussen de leerlingen:

- Is in de protocollen te vinden dat leerlingen bij de minder gestructureerde versie veel moeite hebben om een geschikte aanpak te bedenken of daar zelfs helemaal niet in slagen?
- Is in de protocollen te vinden dat leerlingen bij de minder gestructureerde versie de situatie op een te oppervlakkige manier doordenken?
- Is in de protocollen te vinden dat leerlingen bij de meer gestructureerde versie zich richten op het beantwoorden van de losse vragen zonder zich een beeld te vormen van de situatie als geheel?

In dit hoofdstuk bespreken we eerst een protocol bij de reuzenrad-taak uit de tweede ronde. Daarna bespreken we de protocollen uit de derde ronde bij de opdrachten van het Reuzenrad (MiM2), de Hardloopwedstrijd (MiM4) en Starten/Stoppen (MiM5). Bij de beschrijving van de taken wordt een parafrase van de opdrachten gegeven. De precieze - meestal uitvoerigere - teksten van de derde ronde zijn opgenomen in de Bijlagen I en II.

## 7.2 De reuzenrad-taak in de tweede ronde

Als een van de mogelijke struikelblokken bij de meer gestructureerde versie is genoemd dat leerlingen zich richten op het beantwoorden van losse vragen, zonder zich een beeld te vormen van de situatie als geheel, en zonder dus ook de relaties tussen de vragen te zien. Omdat we hiervan in de derde ronde geen duidelijke voorbeelden zagen, terwijl het een van de opvallende aspecten was uit de analyse van videobanden uit de tweede ronde, bespreken we hier de reuzenrad-taak uit die tweede ronde.
Bij het begin van de taak stond op het scherm alleen het filmpje van het reuzenrad; de leerlingen moesten daar zelf nog op de computer grafieken bij maken (zie Figuur 7.1).




Figuur 7.1 Het Reuzenrad

Opvallend was dat twee tweetallen in de meer gestructureerde conditie bijzonder veel moeite hadden met de taak. Het ene tweetal bestond uit twee jongens, het andere uit twee meisjes. We bespreken een aantal fragmenten uit het protocol van de meisjes, die we hier Olga en Paulien zullen noemen; het protocol van de jongens is op veel punten vergelijkbaar.
De eerste opdracht luidt – verkort - als volgt:

1. Zoek in het filmpje op waar José boven het paleis kan uitkijken, van welk beeldje tot welk beeldje.

De vraag kan beantwoord worden door de hoogte van schuitje en paleis op het oog te vergelijken, maar ook door de precieze hoogte van het schuitje van José (de zwarte pijl) te vergelijken met de, in de leerlingtekst gegeven hoogte van het paleis: 31 meter

en 25 centimeter. De precieze hoogte van het schuitje is af te lezen als de leerlingen HGT hebben geselecteerd.
Olga noemt eerst de framenummers 45 en 63 als antwoord, maar later kiezen ze samen voor 33.07 tot en met 32.07. Die laatste getallen horen echter bij de hoogte, niet bij het framenummer en zijn dus vreemd als antwoord op de gestelde vraag. De inhoud van de vraag is min of meer uit het oog verloren. Twijfel klinkt door in het antwoord dat de meisjes typen:

'Ze kan boven het paleis uitkijken als (ze) op de hoogte zit van 32.29 meter tot en met 32.03. Als we het goed hebben.'

Opdracht 2 luidt:

2. Maak een staafgrafiek (bar graph) van de hoogte van het schuitje waar José in zit.

De bedoeling van opdracht 2 is om de overstap te maken van het filmpje naar een grafiek bij het filmpje. We hoopten als ontwerpers dus dat leerlingen iets zouden zeggen over het uitkijken boven het paleis, maar Olga en Paulien interpreteren de opdracht echter heel plat: er moet een staafgrafiek worden gemaakt. Omdat ze er niet goed uitkomen roepen ze de hulp van de docent in. Op dat moment blijkt overigens dat Paulien de situatie nog niet begrepen heeft, want ze vraagt 'Waar zit José?', waarna Olga ergens op het filmpje wijst.

3. Maak ook een puntengrafiek van de hoogte van het schuitje. Gebruik tijd in plaats van het frame-number (frm-number).

De bedoeling is dat leerlingen straks de twee grafieken voor dezelfde situatie met elkaar kunnen vergelijken. Olga en Paulien maken per ongeluk een grafiek van tijd tegenover framenummer wat een rechte lijn geeft. Over wat die grafiek voorstelt hebben ze hun twijfels, maar dat leidt niet tot herbezinning:

Olga: "Ik weet niet of dit goed is, maar laat maar staan."
Paulien: "Dit is niks."
Olga: "Het is dat het zo is (maakt een gebaar in de lucht van linksonder naar rechtsboven) en niet dat het zo is (van rechtsboven naar linksonder)"

Vanzelfsprekend leidt de volgende vraag nu tot problemen:

4. Schrijf de verschillen en overeenkomsten tussen de staafgrafiek en de puntengrafiek op.

Ze roepen weer de hulp van de docent in en uiteindelijk staan er twee te vergelijken grafieken op het scherm. Hun ingetypte antwoord is nietszeggend:

'Het verschil tussen staafgrafiek en puntengrafiek is dat (bij) de staafgrafiek een framenummer en bij de puntengrafiek de tijd is aangegeven en de telling is ook anders.'

De volgende opdracht luidt:

5. Je kunt in de grafieken aflezen op welke beeldjes ('frames') het schuitje van Jose hoger dan 30 of 31 meter hangt, maar dat kun je niet erg precies. Hoe komt dat?

De bedoeling van de vraag is er de aandacht op te vestigen dat heel nauwkeurig aflezen uit een grafiek meestal niet mogelijk is. Olga en Paulien gaan daar niet op in. Ze schrijven zonder discussie op: 'Omdat José op 30 en nog wat hangt.'

6. Klik op T, de korte naam voor de variabele 'tijd'. Je kunt nu de tijd zien bij elk beeldje. Hoe lang doet het reuzenrad over één rondje?

De bedoeling van de vraag is de leerlingen de overstap te laten maken van frames naar tijd. Na klikken op T kan de duur van één rondje worden opgezocht in het filmpje. Olga denkt echter dat ze iets met een grafiek moet doen en maakt een grafiek van tijd tegenover tijd, een rechte lijn dus. Paulien leest in het filmpje dat een rondje 50 seconden duurt - wat correct is - maar ze willen het in minuten hebben en veranderen de eenheid bij het filmpje van 'seconds' in 'minutes'. Uit wat ze dan krijgen leiden ze af dat een rondje negen minuten duurt, wat argwaan wekt. Ze vragen leerlingen in een ander groepje wat die als antwoord hebben, waarop een van hen uitlegt dat een rondje volgens hem 90 seconden duurt en waarom. Olga concludeert echter: "Maar jullie doen het in seconds, wij doen het in minuten." Als antwoord typt ze in: 'Het reuzenrad doet 0.9 minuten over 1 rondje.'

7. Hoe lang kan José boven het paleis uitkijken bij elk rondje? Leg uit hoe jullie het uitgerekend hebben.

De bedoeling is dat leerlingen nu de laatste stap naar aflezen van het aantal seconden per rondje uit de grafiek zetten. Dat kan op verschillende manieren:

- In het filmpje de frames met hoogte hoger dan 31 meter opzoeken en dan via selecteren van T de bijbehorende tijd opvragen;
- Gegevens uit het filmpje vergelijken met gegevens uit een van de grafieken;
- Alles aflezen uit een grafiek van hoogte tegenover tijd.

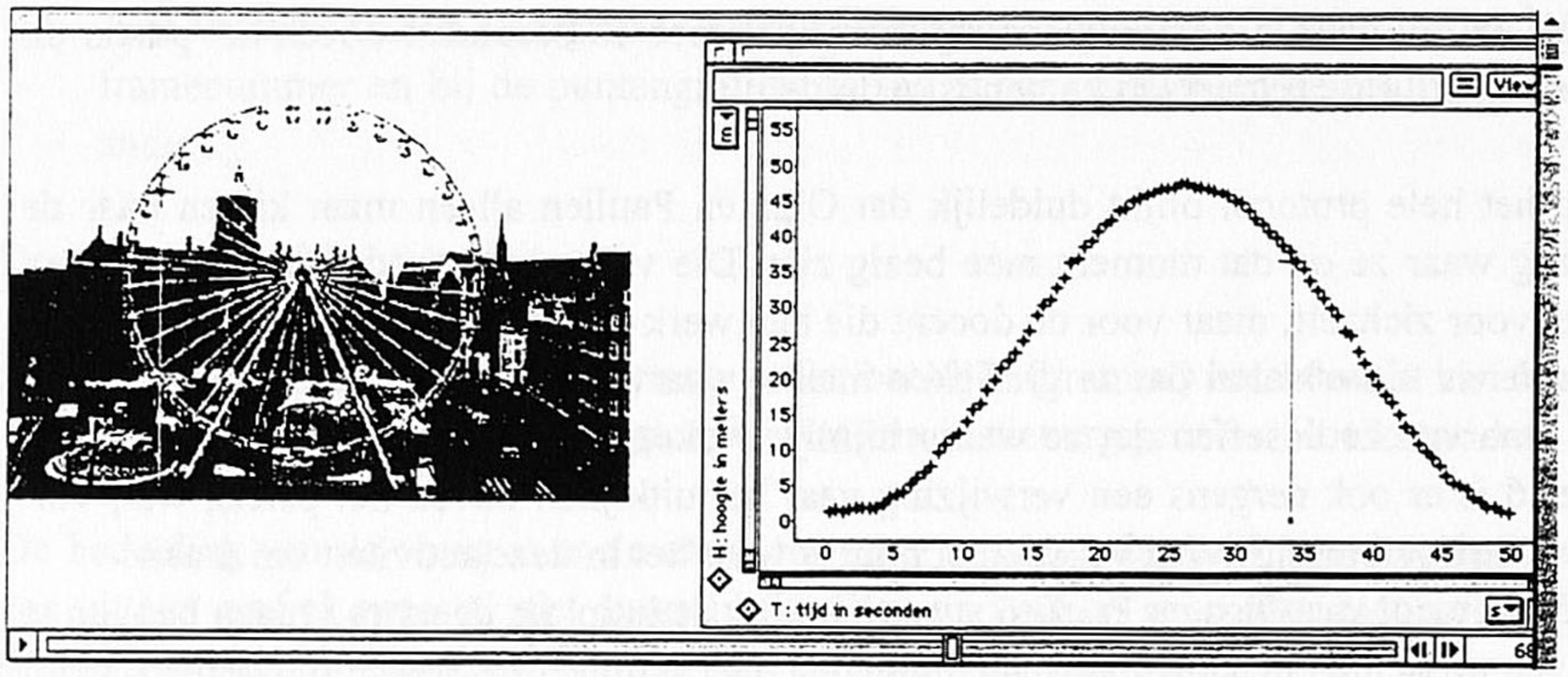
De opdracht is bijna identiek aan die van opdracht 1, maar nu wordt gehoopt dat leerlingen relaties leggen met de grafieken. Paulien zegt dat het ongeveer de helft van de tijd is, want op het filmpje is het ongeveer de helft van het reuzenrad. Olga probeert gegevens uit het filmpje te vergelijken met de grafiek, maar omdat de grafiek fout is

leidt dat tot niets. Uiteindelijk schrijven ze dat José 15 seconden boven het paleis uit kan kijken. Hoe ze daaraan komen is onduidelijk.

Uit het hele protocol blijkt duidelijk dat Olga en Paulien alleen maar kijken naar de vraag waar ze op dat moment mee bezig zijn. Die vraag beantwoorden ze bovendien niet voor zichzelf, maar voor de docent die hun werk straks zal nakijken. Alleen op die manier is te verklaren dat ze grafieken maken waarvan ze de betekenis niet snappen, en waarvan ze beseffen dat ze waarschijnlijk verkeerd zullen zijn. Bij vraag 2 tot en met 6 is er ook nergens een verwijzing naar het uitkijken boven het paleis, wat, volgens de doelomschrijving vooraf, het punt is waar het in deze activiteit om draait.
Het protocol van Olga en Paulien suggereert dat de hulp die de extra vragen beogen te geven misschien helemaal geen steun bieden. Het probleem is dat de ontwerpers steun proberen te bieden vanuit het overzicht dat zij hebben. De leerlingen hebben dat overzicht echter niet. Wat voor de ontwerpers vanzelfsprekende deelstappen zijn binnen het grotere probleem, of in ieder geval vanzelfsprekende stappen in de exploratie van een bepaalde situatie, dat zijn voor de leerlingen alleen maar willekeurige, losse vragen. Als die leerlingen een of meer vragen dan ook nog verkeerd beantwoorden hebben ze er alleen maar last van en geen steun.
Een bezwaar tegen het stellen van kleine deelvragen dat hiermee samenhangt is dat leerlingen op deze manier niet leren om zelf verantwoordelijkheid te nemen. Door als ontwerper het denkproces van de leerlingen precies te willen sturen, lijkt de ontwerper de verantwoordelijkheid over te willen nemen. Dat leerlingen dit ook zo zien, blijkt uit uitspraken als "Ze willen dat we ...." en "Ze bedoelen vast dat we ..." die veelvuldig in de protocollen voorkomen.

## 7.3 Reuzenrad in de derde ronde

Het scherm bij de reuzenrad-taak in de derde ronde is afgebeeld in Figuur 7.2. Zoals besproken in hoofdstuk 4 was de grafiek samen met het oorspronkelijke filmpje tot één brede Quicktime-film gemaakt, wat het mogelijk maakte om in de grafiek een lijn te laten meelopen met de beelden van het reuzenrad.




Figuur 7.2 Het Reuzenrad met de eraan gekoppelde grafiek

De kernopdrachten in deze taak waren:

- Hoeveel seconden per rondje kan José boven het dak van het paleis uitkijken?
- Teken de grafiek van een rondje waarbij mensen uitstappen en instappen.

In de minder gestructureerde versie kwamen deze vragen voor als 'onderzoeksopdracht 1' en 'onderzoeksopdracht 2'. De meer gestructureerde versie bestond in totaal uit 7 opdrachten; de twee kernopdrachten waren in deze reeks respectievelijk opdracht 4 en opdracht 7.

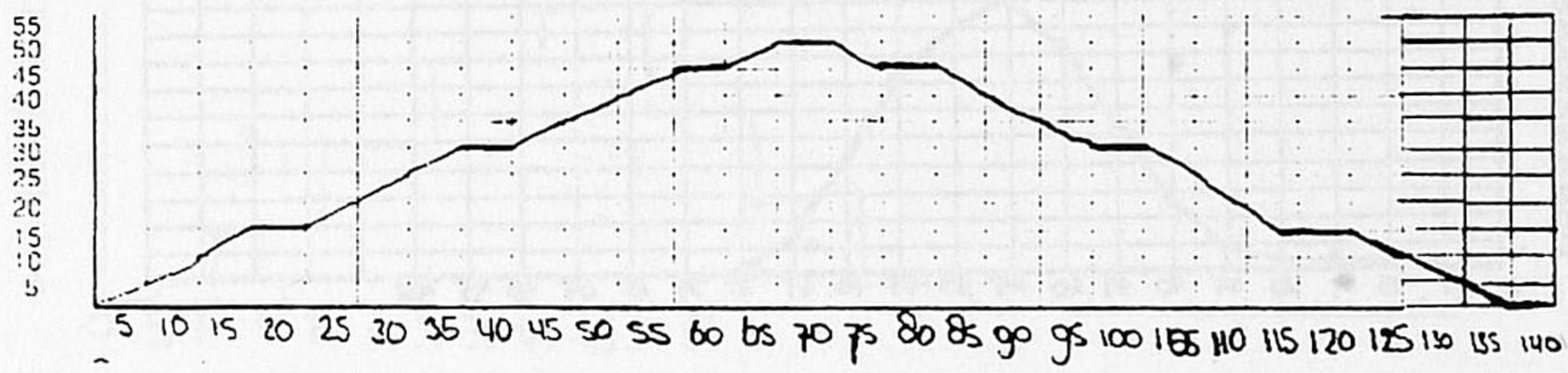
In tegenstelling tot de tweede ronde had in de derde ronde geen van de tweetallen moeite met de eerste vraag, noch in de meer gestructureerde, noch in de minder gestructureerde versie. Sommige leerlingen houden hun geo-driehoek tegen de grafiek op de hoogte van 30 meter en zeggen dat het gaat om het aantal seconden boven die lijn.

Bij de tweede vraag zijn er maar weinig leerlingen die een grafiek tekenen die in alle opzichten correct is. We bespreken hieronder het werk van leerlingen bij de tweede opdracht.

### *7.3.1 Minder gestructureerde versie*

Tekenen van het rondje dat mensen uitstappen en instappen zou moeten neerkomen op invoegen van stop-stukjes in de grafiek die al op het scherm gegeven is. Bij de scoring van het leerlingwerk van hoofdstuk 6 is er vooral op gelet of leerlingen hadden begrepen hoe die stopstukjes moesten worden aangegeven, namelijk als horizontale lijnstukjes. Een veel striktere eis zou zijn dat ook de precieze sinusvorm van de oorspronkelijke grafiek in de nieuwe grafiek terug te vinden is. Bij geen van de tweetallen in de minder gestructureerde conditie was dat het geval.

*Carla en Diane* tekenen een grafiek waarin het bakje steeds 5 meter stijgt in 5 seconden en later op dezelfde manier daalt. De grafiek van Carla staat in Figuur 7.3.




Figuur 7.3 Grafiek van Carla

*Ellen en Floor* maken een vergelijkbare grafiek maar met veel meer stops: in 5 seconden 5 meter omhoog en daarna steeds 10 seconden stilstaan. Op hun papier past slechts de halve grafiek, maar ze schrijven erbij dat ze 'in hetzelfde ritme naar beneden willen'.
*Arlette en Bas* maken een grafiek waarin het bakje soms precies 5 meter stijgt in 5 seconden en soms precies 10 meter. Waar ze voor 5 meter of 10 meter kiezen lijkt willekeurig; het afvlakken bovenaan komt in ieder geval in hun grafiek niet terug.
In alle protocollen valt op dat de leerlingen voor het aantal keer stoppen niet, of onvolledig rekening houden met het aantal bakjes van het reuzenrad. Floor zegt: "Je moet eigenlijk weten hoeveel bakjes erin zitten", maar doet geen poging om de bakjes te tellen. Carla kiest voor drie vakjes stijgen voordat het reuzenrad weer stopt, zonder dat verder te onderbouwen. Ze zegt tegen Diane: "Ok, maar hij stopt niet bij ieder bakje hoor. Doe maar om de drie". Arlette en Bas zeggen niets over het aantal keer stoppen.

### *7.3.2 Meer gestructureerde versie*

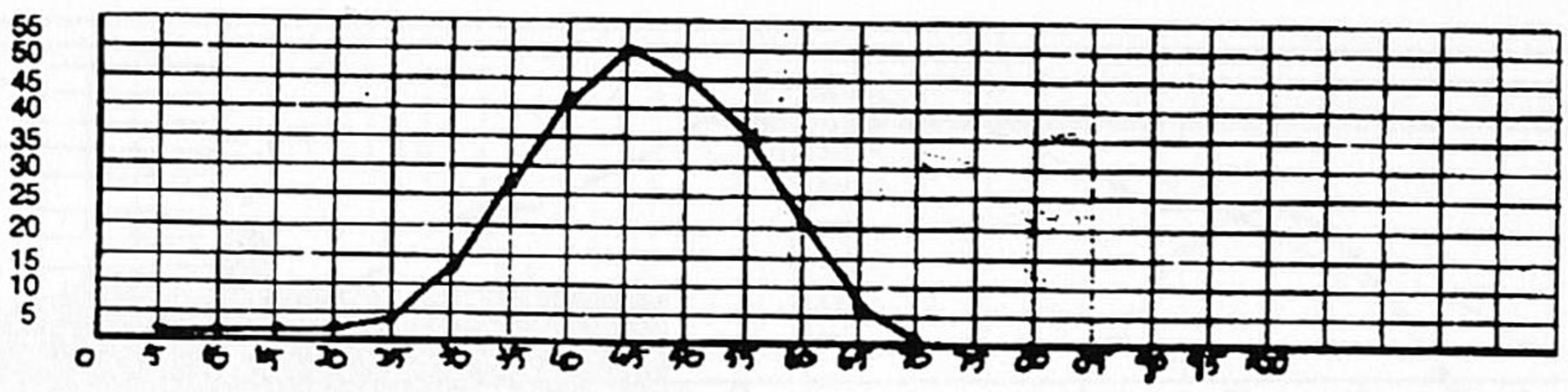
De meer gestructureerde versie verschilt van de minder gestructureerde in die zin dat voorafgaand aan de grafiek van het stoprondje twee andere, simpelere grafieken moesten worden getekend:

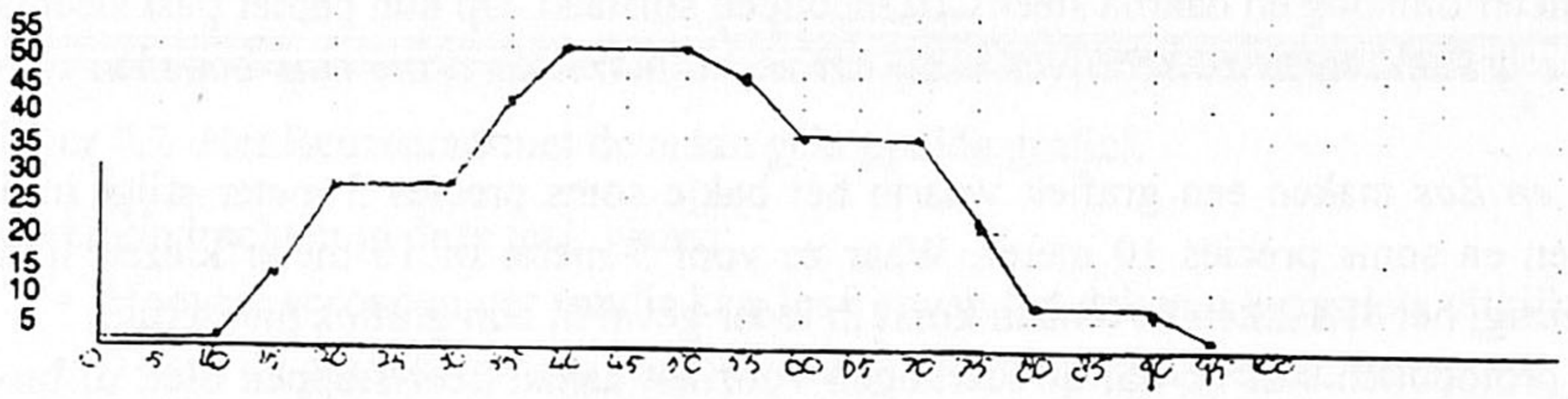
- Het reuzenrad stopt als José net helemaal bovenin zit en blijft dan 30 seconden stilstaan,
- Het reuzenrad blijft nog 20 seconden stilstaan nadat José is ingestapt en gaat dan draaien.

De grafieken kunnen worden getekend als identiek aan die op het scherm, met in beide grafieken op één punt een aanpassing. Verwacht mocht worden dat het tekenen van die grafieken de kans zou verhogen dat de leerlingen in de grafiek van het stoprondje ook rekening zouden houden met de vorm van de oorspronkelijke grafiek.

*Ian en Jörgen* doen dat inderdaad.

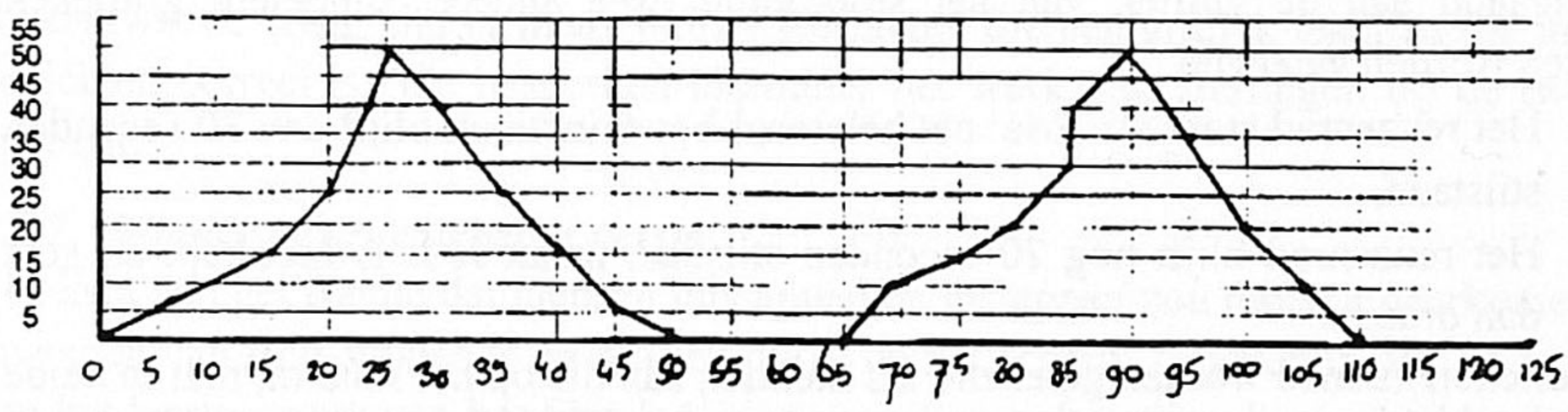
Figuur 7.4 geeft de grafieken van Ian voor eerst nog 20 seconden stilstaan en voor het stoprondje. De laatste grafiek is op het punt van stijgen en dalen volledig identiek aan de andere grafiek.



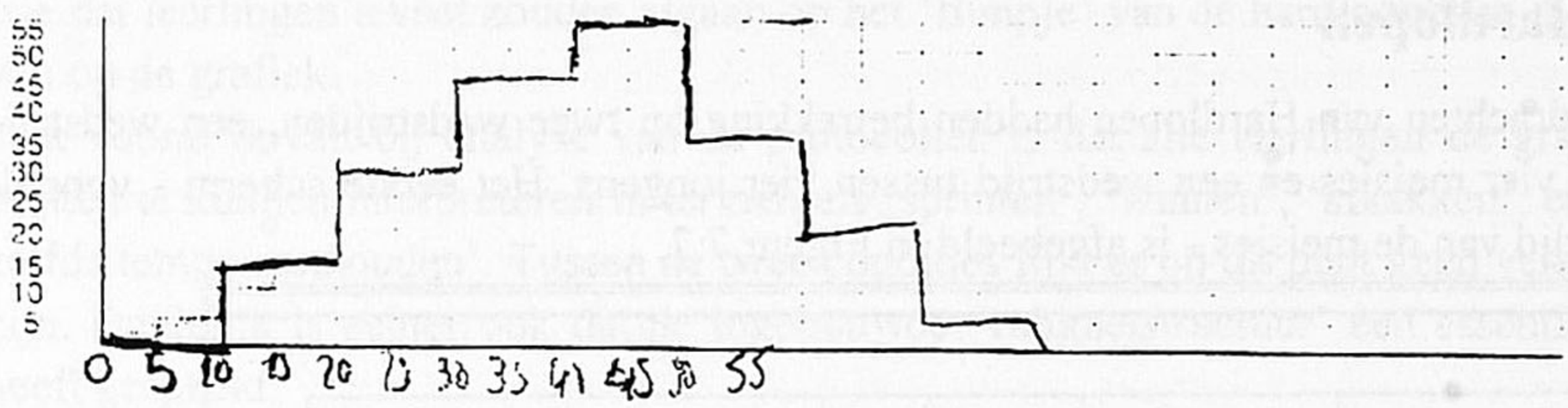

Figuur 7.4 20 seconden stilstaan en het stoprondje van Ian

*Leo en Kasper* maken echter een grafiek die gebaseerd is op steeds 5 meter dalen, resp. stijgen in 5 seconden en dan weer 5 seconden stilstaan.
*Gerard en Hans* laten het reuzenrad maar één keer stoppen per rondje. De grafiek van Gerard staat in Figuur 7.5; hij neemt ook de bovenkant van de scherm-grafiek niet goed over. De grafiek van Hans is op dat punt wel correct.




Figuur 7.5 De grafiek van het stoprondje van Hans

*Mirte* werkt deze les alleen omdat Nina afwezig is. Ze maakt eerst een grafiek als die van Gerard en Hans, met maar één keer stoppen. Als de docent daar vragen over stelt maakt ze als nieuwe grafiek die van Figuur 7.6. In deze grafiek is er helemaal geen sprake van geleidelijk stijgen en dalen.



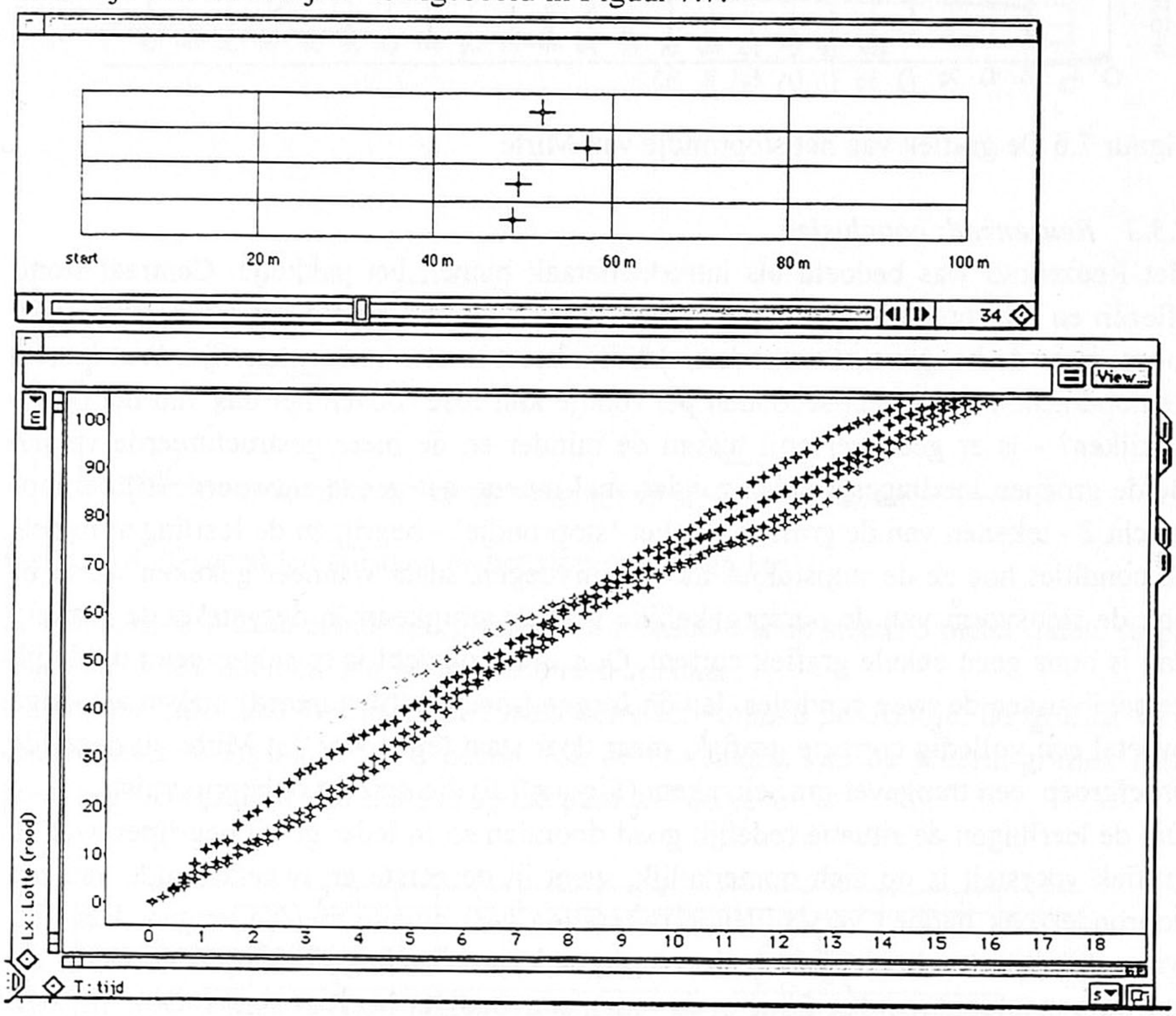

Figuur 7.6 De grafiek van het stoprondje van Mirte

### *7.3.3 Reuzenrad: conclusies*

Het Reuzenrad was bedoeld als introductietaak binnen het pakketje. Centraal stond aflezen en interpreteren van een gegeven grafiek en het inzicht dat als de tijd doorloopt, maar de hoogte niet verandert, dat resulteert in een horizontale lijn. Wat betreft kernopdracht 1 - Hoeveel seconden per rondje kan José boven het dak van het paleis uitkijken? - is er geen verschil tussen de minder en de meer gestructureerde versie. Beide groepen leerlingen vinden zonder veel moeite het goede antwoord. Bij kernopdracht 2 - tekenen van de grafiek van het 'stoprondje' - begrijpen de leerlingen in beide condities hoe ze de stopstukjes moeten invoegen, maar wanneer gekeken wordt of ook de sinusvorm van de oorspronkelijke grafiek terugkeert in de getekende grafiek, dan is bijna geen enkele grafiek correct. Ook in dit opzicht is er echter geen duidelijk verschil tussen de twee condities. Ian en Jörgen (meer gestructureerd) maken als enige tweetal een volledig correcte grafiek, maar daar staat tegenover dat Mirte uit dezelfde proefgroep een trapgevel-grafiek tekent (Figuur 7.6) die op echt onbegrip wijst.
Dat de leerlingen de situatie redelijk goed doorzien en in ieder geval begrijpen wat de grafiek voorstelt is op zich opmerkelijk, want in de eerste en tweede ronde van het vooronderzoek hadden verschillende tweetallen veel moeite met de vragen. Het lijkt waarschijnlijk dat de nieuwe versie van de taak, waarin de grafiek op het scherm als het ware meeloopt met het filmpje, de vraag eenvoudiger heeft gemaakt. Ook dit laten meelopen van de grafiek biedt leerlingen 'structuur', alleen werd deze structuur aan de leerlingen in beide condties geboden.
Voor wat betreft het doordenken van de situatie valt op dat de leerlingen bij het tekenen van het stoprondje geen rekening houden met het aantal bakjes van het reuzenrad. Dit geldt echter voor leerlingen in beide condities.

## 7.4 Hardlopen

De opdrachten van Hardlopen hadden betrekking op twee wedstrijden, een wedstrijd tussen vier meisjes en een wedstrijd tussen vier jongens. Het eerste scherm - voor de wedstrijd van de meisjes - is afgebeeld in Figuur 7.7.




Figuur 7.7 Hardlopen

De kernopdrachten bij deze taak zijn:

1. Hoe passen de grafiek - met de namen van de meisjes daarbij gegeven - en het filmpje bij elkaar?
2. Geef als coach commentaar op de manier waarop ieder van de meisjes heeft gelopen.
3. Doe hetzelfde voor de wedstrijd van de jongens; alleen de grafiek is nu gegeven.

De meer gestructureerde versie heeft naast deze drie opdrachten tien extra steunopdrachten, zie Bijlage II.

Zoals uiteengezet in hoofdstuk 5 fungeert opdracht 2 als het ware als een vangnet voor het geval de eerste opdracht de leerlingen slechts tot oppervlakkig onderzoek van de grafiek aan zou zetten. Opdracht 3 op zijn beurt fungeert als een vangnet voor de situ-

atie dat leerlingen teveel zouden afgaan op het 'filmpje' van de hardloopbaan in plaats van op de grafiek.
Wat vooral opvalt bij analyse van de protocollen is dat alle leerlingen de grafieken blijken te kunnen interpreteren in termen als 'sprinten', 'winnen', 'afzakken', en 'hetzelfde tempo aanhouden'. Tussen de twee condities lijkt er op dit punt geen verschil te zijn. Duidelijk is echter ook dat de ingebouwde 'vangnetstructuur' een essentiële rol heeft gespeeld.

### *7.4.1 Minder gestructureerde versie*

De vangnetstructuur is vooral van belang voor leerlingen die de minder gestructureerde versie van de taak maken, want de drie kernopdrachten zijn in die situatie ook de enige opdrachten.
Bij *Arlette en Bas* is duidelijk dat de opbouw werkt. Bij de eerste onderzoeksopdracht kijken ze alleen naar de volgorde van binnenkomen bij de finish, bij de tweede opdracht baseren ze het commentaar dat ze geven vooral op het filmpje en pas bij de derde opdracht wordt de hele grafiek zorgvuldig geanalyseerd. Het - correcte - radioverslag dat ze opschrijven gaat zo:

> En Jop sprint weg, gevolgd door Pieter, Samir en Wesley. Pieter en Samir sprinten in de 7e sec. Jop voorbij. Samir heeft nu de leiding. Dan begint Wesley te sprinten. Hij passeert bij de 10 sec. Jop en Pieter bij de 13e sec. en wordt nog tweede. De uitslag: 1. Samir, 2. Wesley, 3. Pieter, 4. Jop.

Bij *Carla en Diane* is opvallend dat Carla in het begin relaties probeert te leggen tussen wat er op de baan gebeurt bij 40 en 60 meter, maar wordt afgekapt door Diane die de muis van haar overneemt:

C: "Nee, Diane, kijk, je moet kijken waar ze op het einde komen."

Daarna wordt onderzoeksopdracht 1 uitsluitend beantwoord op basis van de volgorde van binnenkomst. Ook voor Carla en Diane geldt dat ze bij onderzoeksopdracht 2 vooral naar het filmpje kijken en niet naar de grafiek. Onderzoeksopdracht 3, over de jongenswedstrijd, leidt echter tot het interpreteren van de grafiek in termen van 'meteen van start gaan', 'op de hielen zitten', 'terugvallen' en dergelijke..
Er is geen protocol van *Ellen en Floor* omdat Floor afwezig was die les.

### *7.4.2 Meer gestructureerde versie*

In de protocollen van de meer gestructureerde versie valt vooral op dat veel leerlingen al vanaf het begin willen weten welk meisje in welke baan loopt, dus hoe de grafiek en het 'filmpje' bij elkaar passen. Dat is in deze versie pas vraag 6. Het betekent dat leerlingen in de meer gestructureerde conditie hun taak als het ware veranderen in de richting van de minder gestructureerde versie.
Het eerste commentaar van *Gerard en Hans* na doorkijken van het 'filmpje' is:

G: "Baan 4 wint, wie loopt er op baan 4?"

H: "Eh, weet ik veel."
G: "Ja, ik denk Anouk, want dat is wel een snelle naam, haha."
H: "Nee wacht even, ja Anouk, die rooie. Nee ...."
G: "Ja, hoe kan je dat nou al weten, joh?"
H: "Ja die rooie. Ja kijk hier (wijst de lijn in de grafiek aan), die loopt toch het hardst, staat toch boven ook?"
G: "Oh, ja. Dus hij is hier over de streep."

Vervolgens beginnen de leerlingen aan opdracht 1, maar ze komen steeds terug op de vraag wie nu eigenlijk in welke baan loopt. Als die vraag uiteindelijk bij opdracht 6 wordt gesteld weten ze het antwoord al.
Bij het tweetal *Ian en Jörgen* interpreteert de eerste ogenblikkelijk de grafiek, nog voordat de docent de kans heeft gehad om de taak te introduceren:

I: " Ja, kijk, die groene heeft veel te hard gesprint in het begin en die blauwe is ook veel te hard gegaan ... ja, die rooie is heel goed gegaan."

Als vervolgens bij opdracht 1 vragen gesteld worden over het filmpje legt Ian direct de relatie met de grafiek. Jörgen wil daar nog niet over nadenken:

I: "Maar wie is .. hoe kan je zien welke baan iedereen heeft?"
J: "Ja, daar moet je gewoon nog even niet naar kijken."
I: "Nee ... nee. Nee, ze raakt helemaal achteraan, dat is dus die groene."

Bij vraag 4 wil echter ook Jörgen weten wie nu precies in welke baan loopt en dat zoeken ze dan samen uit.
Alleen *Kasper en Leo* beantwoorden de vragen in de bedoelde volgorde, wat wil zeggen dat ze pas bij vraag 6 het lijstje van namen en baannummers maken.
Geen van de genoemde tweetallen heeft veel moeite met de vragen van Hardlopen.

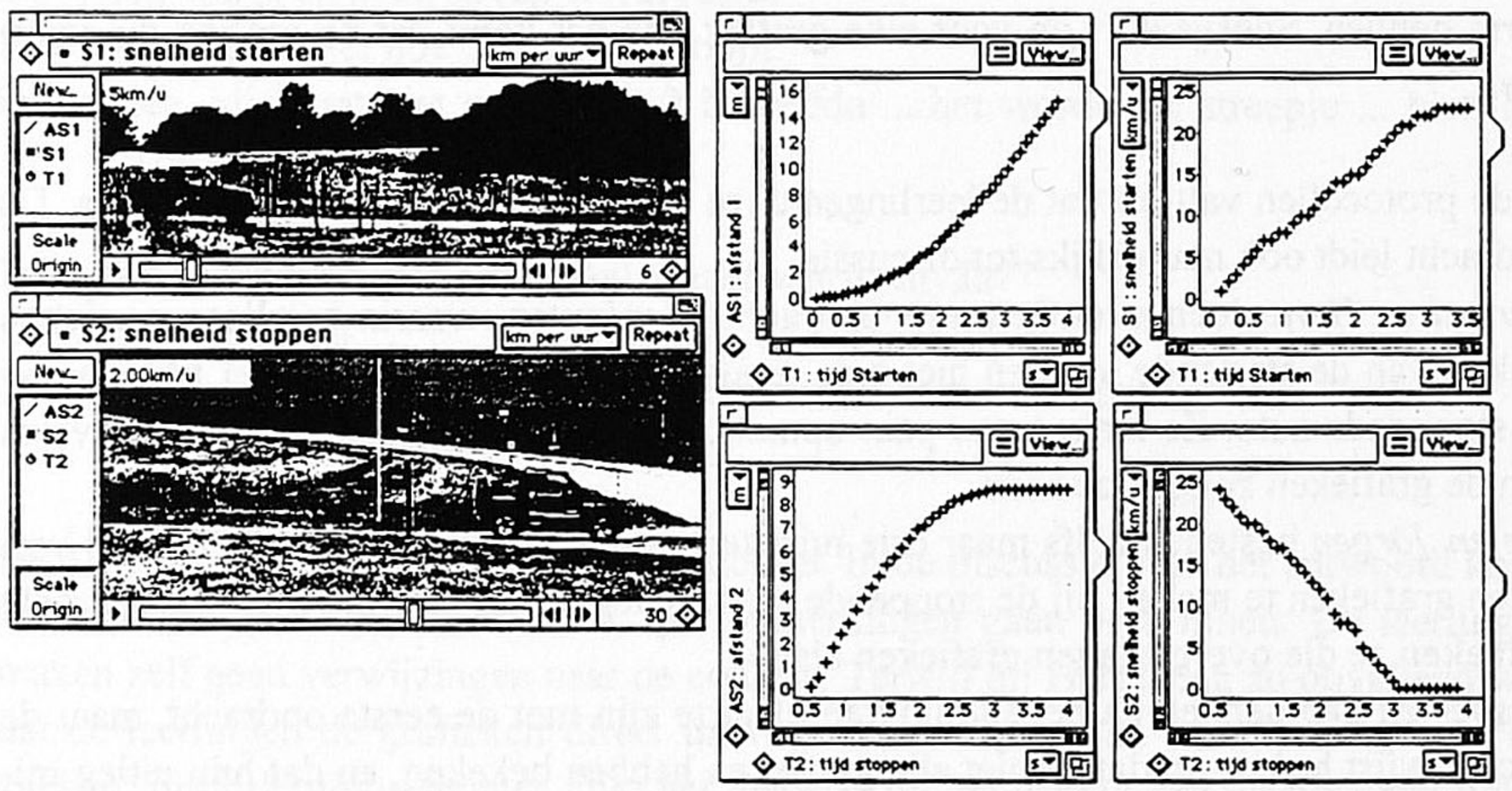
### *7.4.3 Hardlopen: conclusies*

Leerlingen blijken de grafieken van de taak Hardlopen zonder veel moeite te kunnen interpreteren in termen van versnellen, langzamer gaan of een constante snelheid aanhouden. Dit kan op verschillende manieren worden geïnterpreteerd. Een conclusie zou kunnen zijn zijn dat leerlingen in de brugklas al zoveel weten over grafieken dat het herkennen van snelheidveranderingen in die grafieken niet moeilijk voor hen is. Het lijkt echter waarschijnlijk dat ook de aard van de taak een belangrijke rol speelt: de leerlingen kunnen zich goed inleven in de situatie en de wedstrijd van de meisjes wordt bovendien nog eens heel concreet gemaakt via het 'filmpje' van de bewegende punten op de baan.
Het werken met aparte versies leidt niet tot grote verschillen. Opvallend is dat leerlingen met de meer gestructureerde versie hun taak aanpassen in de richting van de minder gestructureerde versie, want ze stellen zich spontaan de vraag wie er wint, dat wil

zeggen welk meisje in welke baan loopt. Het kost de leerlingen niet zoveel moeite dat probleem op te lossen, maar ze komen er in het protocol wel vaak op terug, omdat ze steeds vergeten hoe het precies zit.
In de taak zit een 'vangnetstructuur' in die zin dat als opdracht 1 de leerlingen er niet toe brengt om bepaalde aspecten van de grafiek te onderzoeken, opdracht 2 dat wellicht doet, en anders opdracht 3. Deze opbouw blijkt effectief want zonder vraag 2 en 3 zouden de leerlingen met de minder gestructureerde versie waarschijnlijk alleen maar naar de volgorde van binnenkomst hebben gekeken. Zo gauw de leerlingen een antwoord hebben gevonden beschouwen zij het probleem als afgedaan. Duidelijk is dus dat het probleem 'Welk meisje loopt in welke baan?' stimulerend werkt, maar op zich niet voldoende is om leerlingen tot diepgaand onderzoek van de grafieken aan te zetten.

## 7.5 Starten/Stoppen

In de taak Starten/Stoppen staat het onderscheid tussen grafieken van snelheid-tijd en grafieken van afstand-tijd centraal. Figuur 7.8 toont het scherm met daarop de vier mogelijke grafieken bij de twee gegeven filmpjes.




Figuur 7.8 Starten/Stoppen met grafieken

Het ene filmpje toont een auto die gaat rijden, het andere filmpje toont hoe diezelfde auto afremt en stopt voor een kruispunt.
Kernopdrachten in deze taak zijn:

1. Er kunnen twee grafieken gemaakt worden bij elk filmpje: afstand-tijd en snelheid-tijd. Vergelijk de vorm van de vier grafieken.
2. Maak grafieken van afstand-tijd en snelheid-tijd voor een denkbeeldige auto die start, dan een tijdje 30 km per uur rijdt en daarna weer stopt,

In de meer gestructureerde versie is de eerste opdracht vertaald in vijf opgaven met twee tot vier subvragen over allerlei verschillen tussen de grafieken. In totaal zijn er 16

vragen. In de minder gestructureerde versie correspondeert dit met één enkele onderzoeksopdracht. De tweede kernopdracht - tekenen van grafieken voor de denkbeeldige auto - is identiek voor beide versies. Het verschil tussen de twee versies van de taak is dus alleen de lange serie vragen rond het vergelijken van de grafieken.
Omdat de problemen waar de leerlingen bij de twee kernopdrachten tegenaan liepen heel verschillend waren bespreken we de opdrachten apart.
Bij de taak Starten/Stoppen werd gewisseld: tweetallen die tot nu toe steeds de meer gestructureerde versie hadden gehad, kregen de minder gestructureerde versie, en omgekeerd.

### *7.5.1 Onderzoeken grafieken: minder gestructureerde versie*

De 'onderzoeksopdracht' in de minder gestructureerde versie was geformuleerd als:

'Je kunt met het computerprogramma twee soorten grafieken maken:
- voor elke film een grafiek van *afstand* ten opzichte van tijd,
- voor elke film een grafiek van *snelheid* ten opzichte van tijd.

Maak die grafieken en onderzoek ze. Je zult zien dat de grafieken een verschillende vorm hebben. Schrijf kort op voor elke grafiek hoe het komt dat de grafiek die vorm heeft.'

In de protocollen valt op dat de leerlingen deze opdracht heel gebrekkig uitvoeren. De opdracht leidt ook nauwelijks tot discussie.
*Gerard en Hans* doen over de eerste opdracht 13 minuten, waarin ze alleen grafieken maken van de startende auto en niet ook, zoals bedoeld, grafieken bij het filmpje van de stoppende auto. Ze maken een paar opmerkingen tegen elkaar, maar over de vorm van de grafieken zeggen ze niets.
*Ian en Jörgen* besteden zelfs maar drie minuten aan de eerste opdracht en ook zij vergeten grafieken te maken bij de stoppende auto. Later, als ze al bezig zijn aan opdracht 2, maken ze die overgeslagen grafieken alsnog.
*Kasper en Leo* denken na negen minuten klaar te zijn met de eerste opdracht, maar de docent wijst hen er op dat ze niet alle grafieken hebben bekeken, en dat hun uitleg minimaal is. Uiteindelijk doen ze 35 minuten over de eerste opdracht, waarvan 10 minuten in de volgende les.
*Nina en Mirte* overleggen nauwelijks. Bij onderzoeksopdracht 1 schrijven ze ieder voor zich, maar kijken wel bij elkaar wat ze opschrijven. Ze komen niet verder dan: 'Omdat de één afstand is en de ander snelheid. En dat heeft allebei een andere vorm.'

### *7.5.2 Onderzoeken grafieken: meer gestructureerde versie*

In de meer gestructureerde versie worden vragen gesteld over allerlei verschillen tussen de grafieken. De ene opdracht in de minder gestructureerde versie is hier omgezet in 16 aparte vragen. De leerlingen slaan geen vragen over, wat tot gevolg heeft dat ze, in tegenstelling tot leerlingen de andere conditie, in ieder geval alle grafieken bekijken.

De vraag is echter of de leerlingen wel een verbinding leggen tussen de grafieken en de context. De discussies tussen de leerlingen lijken bij elk tweetal te gaan over het stijgen of niet stijgen van lijnen, en niet over de relatie tussen de grafieken en het rijden van de auto.

Arlette en Bas:
B: "Nee de lijn gaat gewoon .... tsssj"
A: "De lijn blijft ongeveer op dezelfde hoogte"
B: (wijst) "Nee joh, hij gaat toch omhoog, dat zie je toch!"
A: "De lijn stijgt met dezelfde snelheid"
B: "Ja, hoe zeg je dat?"
A: "Ik begrijp wat je bedoelt."
B: "De lijn gaat steeds even steil omhoog."
A: "Ja."
(Gaan schrijven)

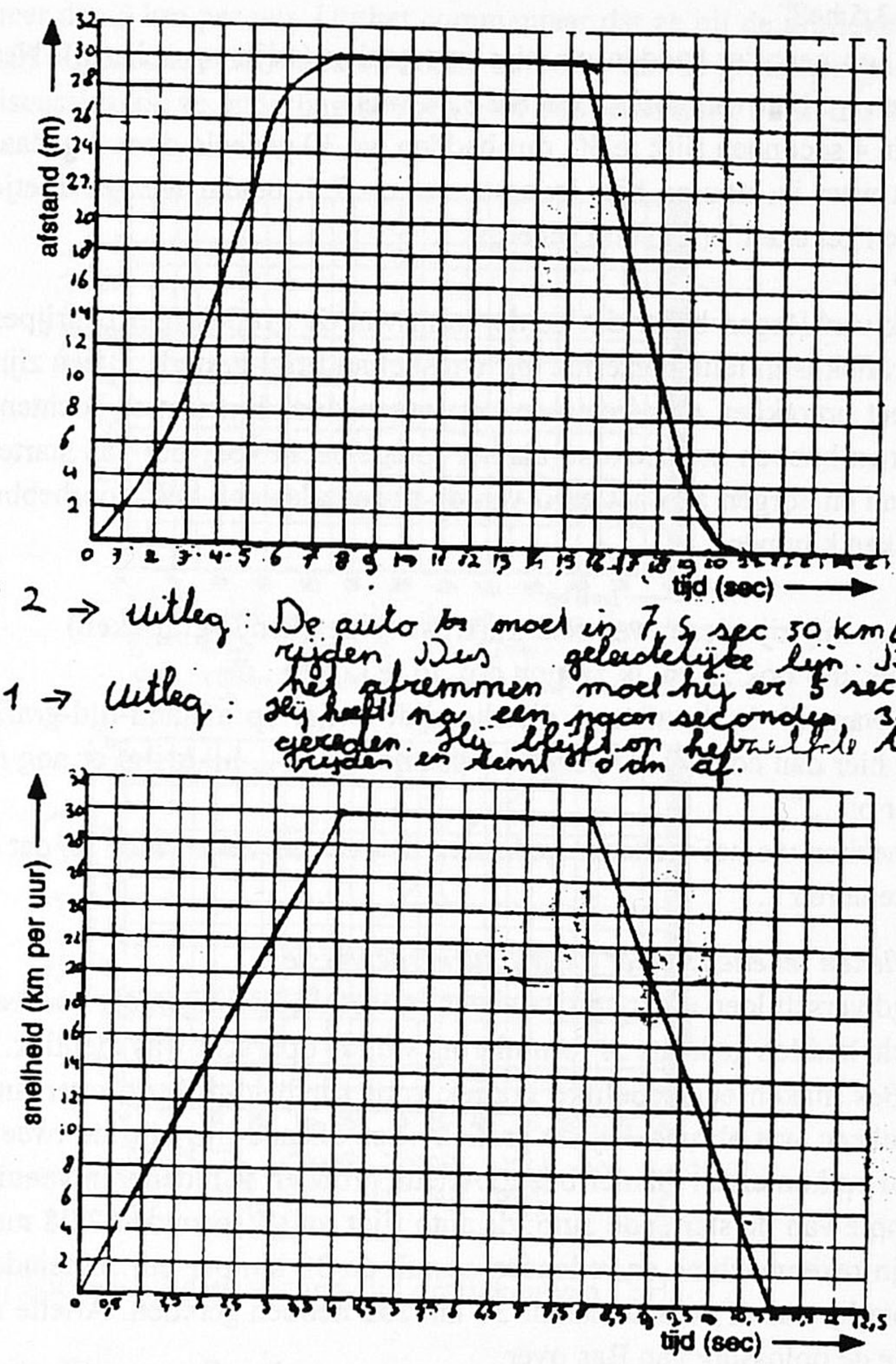
Carla en Diane:
D: "Hij wordt eh ... de streep wordt recht."
C: "Aan de manier hoe de ...eh .. oploopt."
D: "Nee, hij loopt niet op, hij blijft hetzelfde ... het wordt een streepje ... hier, het worden streepjes."
C: "Ja."
D: "De lijnen worden horizontaal. (Gaat schrijven) Ja?"
C: "Niet allemaal ..."
D: "Nee boven de drie ... boven de drie worden ze steeds horizontaal."
(C gaat ook schrijven)

Bij alle vragen gebeurt min of meer hetzelfde. In de discussie over het antwoord komt het woord 'auto' bijna nooit voor: alle opmerkingen gaan over lijnen. De leerlingen maken zelf geen verwijzingen naar de context. Terwijl bij Hardlopen zo opvallend was dat de leerlingen de grafieken direct interpreteerden in termen van 'sprinten' en 'afzakken' blijft de discussie hier, lijkt het, beperkt tot het niveau van plaatjes met lijnen die stijgen, gelijk blijven of dalen.

### *7.5.3 Grafieken tekenen: minder gestructureerde versie*

De tweede kernopdracht was het tekenen van een afstand-tijd-grafiek en snelheid-tijd-grafiek voor een denkbeeldige auto. Deze opdracht was voor beide condities identiek geformuleerd en het verschil tussen de condities was op dit punt dus alleen dat leerlingen daarvoor *of* de open geformuleerde onderzoeksopdracht hadden gehad *of* de lange serie vragen.
De tekenopdracht bleek heel moeilijk omdat de leerlingen hun grafiek van *afstand* tegenover tijd precies wilden laten kloppen met de grafiek van *snelheid* tegenover tijd.

Dat is in feite een bijna onmogelijke opdracht voor leerlingen in de brugklas. Wij hadden de vragen ontworpen met het idee dat leerlingen een globale schets zouden maken van de gevraagde grafieken, niet met het idee dat ze twee precieze, punt voor punt bij elkaar passende grafieken zouden gaan tekenen. In de opdracht stond dan ook dat het vooral om de *vorm* van de grafiek ging. Bijna alle leerlingen negeren die opmerking. Het feit dat de grafieken op ruitjespapier moesten worden getekend zal er overigens ook aan hebben bijgedragen dat leerlingen niet met een globale schets volstonden.
In beide condities konden de leerlingen zelf kiezen in welke volgorde ze de grafieken maakten, maar alle tweetallen maakten eerst de grafiek van *snelheid* ten opzichte van tijd. Verschillende leerlingen zeiden expliciet dat ze dat deden omdat die grafiek het makkelijkste was.
Bij de groep leerlingen die met de minder gestructureerde versie werkten valt op dat drie van de vier tweetallen helemaal niet tot samenwerking komen. Hun gesprekken blijven min of meer beperkt tot verzuchtingen dat de opdracht veel te moeilijk is.
*Gerard en Hans* doen in totaal 41 minuten over de tweede onderzoeksopdracht: deels in les 5 en deels in les 6. Hans rekent op zijn rekenmachine uit dat 30 km per uur neerkomt om een halve km per minuut en is daarna lang aan het tekenen. Gerard is vooral op de computer bezig, zonder dat hem dat veel oplevert. Uiteindelijk zegt Hans dat zijn grafiek klopt en dat Gerard die grafiek moet overnemen, wat Gerard inderdaad doet. Het enige waar ze even over praten is dat 30 km per uur een halve km per minuut is. De grafieken die ze inleveren zijn op verschillende punten niet correct.
*Kasper en Leo* doen over de onderzoeksopdracht 28 minuten. Ze overleggen niet met elkaar. Kasper neemt van Leo over hoe de snelheid-tijd-grafiek er uit moet zien en Leo roept de docent erbij als hij de afstand-tijd-grafiek moet gaan maken. De docent spreekt vervolgens het probleem met de leerlingen door.
Ook *Nina en Mirte* werken nauwelijks samen. Bij onderzoeksopdracht 2 maken ze eerst de snelheid-tijd-grafiek en zuchten dan dat ze niets snappen van de andere grafiek. Uiteindelijk roepen ze de hulp van de docent in.
Het protocol van het vierde tweetal, *Ian en Jörgen,* is echter volstrekt anders. Ook deze leerlingen hebben veel moeite met tekenen van de laatste grafiek, maar ze bijten zich echt vast in het probleem en proberen er samen uit te komen. Ze besteden in totaal bijna 60 minuten aan het probleem. In de eerste les halen ze de docent er een keer bij, maar als deze hen zegt dat ze op de goede weg zijn gaan ze zelfstandig verder.




Figuur 7.9 Afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken van Jörgen

De uiteindelijke grafieken die Jörgen inlevert staan in Figuur 7.9. Het langst doen ze over het begin van de grafiek. Naar analogie van de grafieken voor starten op het computerscherm willen ze de afstand-tijd-grafiek een bocht geven, maar hoe ze aan precieze getallen daarvoor moeten komen weten ze niet. Uiteindelijk gebruiken ze deels gegevens uit de grafieken op het scherm en deels berekeningen gebaseerd op het feit dat ze uiteindelijk op 30 km per uur willen uitkomen. Halverwege de tweede les reconstrueren ze hun eigen redenering als volgt:

J: "Hoe kwamen we hier ook al weer op ... we hadden iets met 7,5 seconden bedacht ..."

I: "Dit is 3,5 he?"
J: "Oh ja, oh nee, dat hadden we hier van gezien (wijst op scherm). Nee, Ian, dat hadden we hier van gezien, dat dat 3,75 was."
I: "I4 ... in 4 seconden rijdt ie 30, dus hadden we 30 gedeeld door 4 gedaan ..."
J: "Ja dat weet ik, nou en hier kwamen we op 7,5, omdat we een beetje daarnaar hadden gekeken." (wijst op scherm)

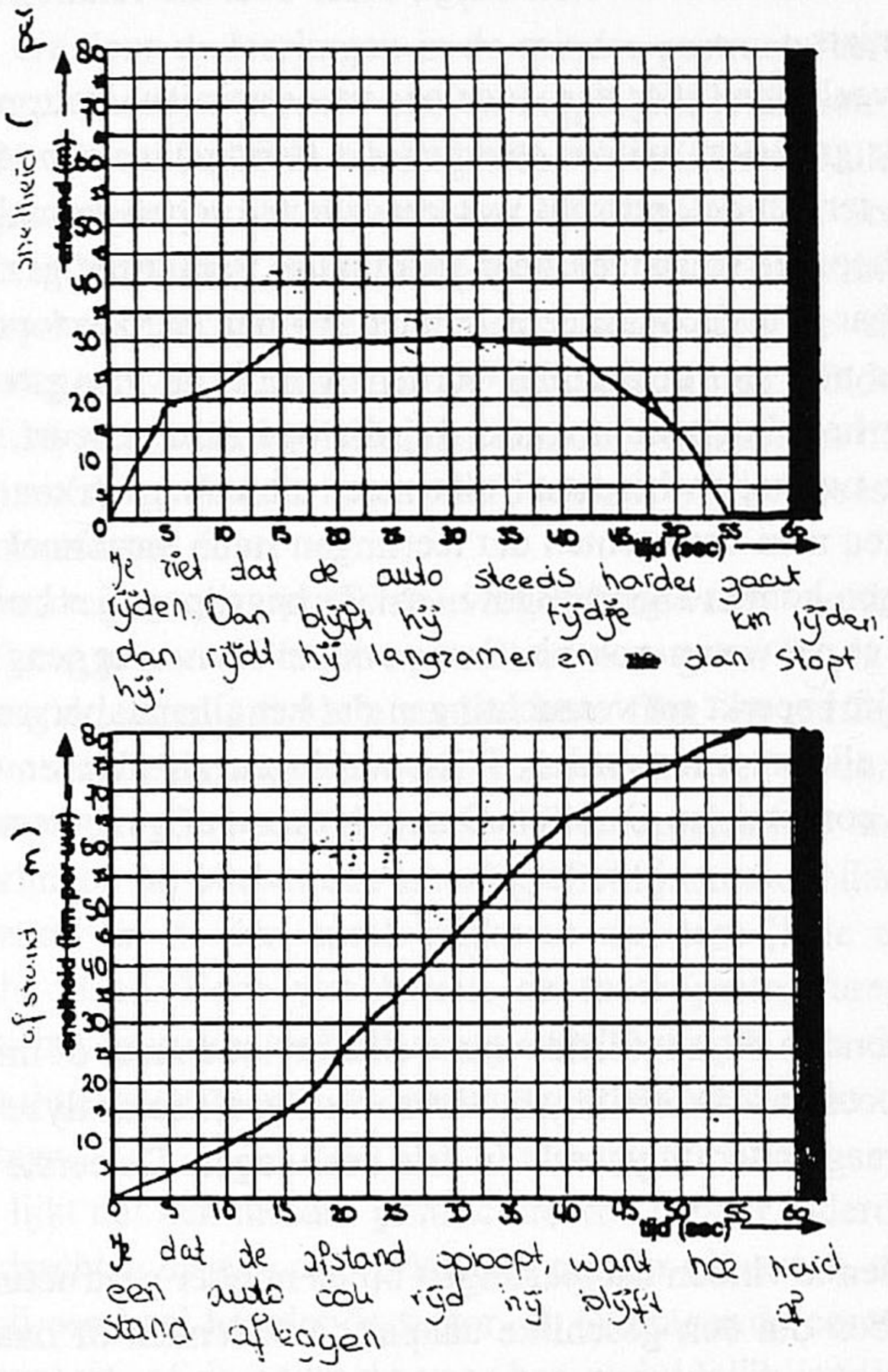
Uit het werk van Jörgen blijkt dat ze de vorm van de grafiek niet begrijpen. Hun afstand-tijd-grafiek is in feite hetzelfde als hun snelheid-tijd-grafiek, alleen zijn de rechte lijnen van het optrekken en afremmen vervangen door lijnen met bochten. Het stuk voor afremmen hebben ze getekend als het spiegelbeeld voor dat van starten. Interessant is dat Ian en Jörgen aan het eind van de tweede les ook zelf doorhebben dat hun grafiek niet kan kloppen:

J: "Volgens mij zijn deze twee fout ....(wijst op getekende grafieken)
I: "Volgens mij ook .... Ja, ik zit nou ook zo te kijken ..."
J: "Kijk, want dit is de afstand die die rijdt (wijst op afstand-tijd-grafiek) en hij blijft hier dan continu op dezelfde afstand rijden ... hij krijgt er nog niet 1 kilometer bij ..."
I: "Dan hebben we het verkeerd gedaan ... ik weet het zeker. Nou ja, dat krijgen we wel te horen ..."

### *7.5.4 Grafieken tekenen: meer gestructureerde versie*

Zoals gezegd verschilden de condities alleen in wat de leerlingen als voorbereiding op deze opdracht hadden gedaan; de formulering van de opdracht was identiek.
*Arlette en Bas* maken een redelijke grafiek voor snelheid-tijd; de overgang naar het remmen is alleen wat abrupt. Bij de grafiek voor afstand-tijd zijn de twee leerlingen eerst een tijd op hun eigen manier bezig. Arlette probeert te redeneren vanuit gegevens van het filmpje van de startende auto: de auto rijdt in 2,5 seconden 7,28 meter. Bas is bezig op zijn rekenmachine en redeneert vanuit de 30 km per uur. Uiteindelijk tekent hij een rechte lijn, alsof de auto steeds 30 km zou hebben gereden. Arlette neemt zonder discussie de oplossing van Bas over.
*Ellen en Floor* maken twee losse grafieken, als het ware voor twee verschillende auto's. Waarschijnlijk speelt daar in mee dat ze de snelheidsgrafiek in de eerste les maken en de afstandsgrafiek in de volgende les. Er is nauwelijks discussie tussen de leerlingen. Wel nemen ze elkaars grafieken over.
*Carla en Diane* maken een afstand-tijd grafiek die wat vorm betreft heel goed past bij hun snelheid-tijd grafiek, zie Figuur 7.10. Eerst komt de auto op snelheid, dan houden ze de stijging in de afstandsgrafiek constant - precies dezelfde periode als in de snelheidsgrafiek - en dan vlakt de grafiek af om horizontaal te worden als de auto stilstaat. Wat niet klopt zijn de getallen naast de verticale as. De getallen hebben ze neergezet voordat ze gaan tekenen en omdat 80 toevallig het maximum is op die as laten ze de auto 80 meter rijden in 55 seconden, wat zou neerkomen op een gemiddelde snelheid

van iets meer dan 5 km per uur. Uit het commentaar dat ze bij de grafieken zetten (zie Figuur 7.10) blijkt echter dat Carla en Diane de vorm van de grafieken goed begrijpen en in de discussies die ze onderling hebben over hun tekenwerk blijkt dat ook.




Figuur 7.10 Snelheid-tijd en afstand-tijd grafieken van Carla

### *7.5.5 Starten/Stoppen: Conclusies*

Gezien onze vraagstellingen is vooral het protocol van Ian en Jörgen in de minder gestructureerde conditie interessant. De eerste onderzoeksopdracht voeren deze leerlingen op een heel oppervlakkige manier uit: ze vergeten grafieken te maken bij de stoppende auto en besteden in eerste instantie maar drie minuten aan de opdracht. Als ze daarna echter bij opdracht 2 zelf een grafiek moeten tekenen en vast komen te zitten blijkt dat Ian en Jörgen heel goed zelfstandig kunnen werken, want ze bijten zich echt vast in dat probleem.

Het protocol van Ian en Jörgen, maar ook van de andere leerlingen in de minder gestructureerde conditie maakt duidelijk dat de eerste opdracht niet werkt als een stimulans om op onderzoek te gaan. De meer gestructureerde versie, waarin de leerlingen als het ware aan de hand worden genomen langs de verschillen tussen de vier grafie-

ken, werkt in zoverre beter dat de leerlingen niets overslaan, maar de vraag is nu of de leerlingen echt betekenis toekennen aan de grafieken. Alles wat de leerlingen in die conditie zeggen blijft op het niveau van de grafieken zelf: geconstateerd wordt bijvoorbeeld dat een lijn steil of minder steil stijgt, maar over de relatie met het rijden van de auto zeggen ze niets.
Kernopdracht 2 bleek veel moeilijker dan door ons was voorzien. Het probleem is dat leerlingen heel precieze grafieken wilden tekenen die liefst punt voor punt bij elkaar zouden moeten passen, terwijl de opdracht was een globale schets te maken. De meer gestructureerde versie bood de leerlingen geen extra hulp. Vanuit het gezichtspunt van de onderwijsontwikkelaar zou geconstateerd kunnen worden dat kernopdracht 2 mislukt is; er moet althans nog aan gesleuteld worden. Vanuit de vraagstelling van het onderzoek is het echter heel interessant wat er bij die opdracht gebeurt. Opvallend is namelijk dat de meeste tweetallen helemaal niet meer tot samenwerken komen. Juist nu het moeilijk wordt zou men verwachten dat leerlingen steun gaan zoeken bij elkaar, maar de meeste leerlingen komen eigenlijk tot niets. Ze begrijpen niet hoe ze de opgave aan moeten pakken en ze weten ook niet hoe ze kunnen overleggen. De interactie tussen de leerlingen blijft beperkt tot verzuchtingen dat het allemaal erg moeilijk is en tot het overnemen van elkaars antwoorden. Uitzonderingen zijn Ian en Jörgen in de minder gestructureerde conditie, en Carla en Diane in de meer gestructureerde conditie.

## 7.6 Conclusies

De vraag die centraal stond in dit hoofdstuk was welke invloed meer of minder structuur heeft op het leerproces van de leerlingen. Voor wat betreft de analyse van de video-opnamen is deze vraag nader uitgewerkt in drie deelvragen. De eerste luidde:

- Is in de protocollen te vinden dat leerlingen bij de minder gestructureerde versie veel moeite hebben om een geschikte aanpak te bedenken of daar zelfs helemaal niet in slagen?

Op één opdracht na bleken de taken in de derde ronde niet zo moeilijk dat leerlingen niet wisten hoe ze er aan moesten beginnen. De uitzondering was het tekenen van een grafiek van afstand-tijd voor een denkbeeldige auto bij MiM5,Starten/Stoppen. Deze opdracht werd door de leerlingen echter anders opgevat dan hij bedoeld was, want ze probeerden een grafiek te maken die precies paste bij hun snelheid-tijd-grafiek in plaats van een globale schets te maken. Omdat de problemen waar de leerlingen tegenop liepen niet voorzien waren bood de meer gestructureerde versie op dit punt geen extra hulp.
In de derde ronde leverde de Reuzenradtaak de leerlingen vrij weinig problemen op. Daarin heeft waarschijnlijk meegespeeld dat in die ronde de grafiek van het reuzenrad dynamisch was: een lijn in de grafiek liep mee met het filmpje, zodat duidelijk te zien was waar de punten van de grafiek mee correspondeerden.

- Is in de protocollen te vinden dat leerlingen bij de minder gestructureerde versie de situatie op een te oppervlakkige manier doordenken?

Een opdracht die door de leerlingen in de minder gestructureerde conditie heel slecht werd uitgevoerd was de opdracht om de mogelijke grafieken bij Starten/Stoppen te vergelijken. Opvallend is dat de leerlingen in eerste instantie allemaal vergeten om een deel van de gevraagde grafieken te maken op de computer. Sommige leerlingen ontdekken na een tijdje zelf dat ze wat vergeten zijn, andere leerlingen moeten er door de docent/onderzoekster op gewezen worden. Verder zijn de uiteindelijk ingeleverde antwoorden vaag en weinig zeggend. De leerlingen in de minder gestructureerde conditie doen het bij deze taak veel slechter dan de leerlingen in de meer gestructureerde conditie die over de grafieken in totaal 16 kleine vragen moesten beantwoorden; zie daarvoor ook hoofdstuk 6.
Duidelijk is dat de gegeven opdracht - vergelijk de vorm van de vier grafieken – voor de leerlingen geen stimulans is om op onderzoek te gaan. Dit is een groot verschil met Hardlopen waar de vraag om uit te zoeken hoe 'film' en grafiek bij elkaar horen voldoende was om leerlingen aan het werk te zetten en waar de context zelf de vragen bij de leerlingen oproept. De twee taken verschillen op zich niet zo veel van elkaar in die zin dat de leerlingen bij allebei een aantal grafieklijnen met elkaar moeten vergelijken, maar de context van de één sprak blijkbaar aan terwijl de ander alleen maar een schoolopdracht bleef. Voor wat betreft de meer gestructureerde versie van Starten/Stoppen is het trouwens ook de vraag wat leerlingen van de opdracht hebben geleerd, want in de discussies van de leerlingen komt nauwelijks ter sprake waar de grafieken voor staan.
De conclusie lijkt dat een minder gestructureerde taak er inderdaad toe kan leiden dat leerlingen opdrachten op een oppervlakkige manier uitvoeren, maar dat de inhoud van de taak daarbij een heel bepalende factor is. Wanneer de context de leerlingen blijkbaar niet aanspreekt, of de opdracht voor hen onduidelijk is zijn deze brugklasleerlingen niet in staat om de opdracht zorgvuldig uit te voeren.

- Is in de protocollen te vinden dat leerlingen bij de meer gestructureerde versie zich richten op het beantwoorden van de losse vragen zonder zich een beeld te vormen van de situatie als geheel?

In de protocollen van de tweede ronde waren hier duidelijke aanwijzingen voor te vinden. We hebben aan het begin van dit hoofdstuk als voorbeeld het reuzenrad-protocol van Olga en Paulien besproken. Uit dat protocol bleek dat deze leerlingen alleen maar keken naar de vraag waar ze op dat moment mee bezig waren, zonder te letten op de situatie als geheel. Opvallend was ook dat de leerlingen vaak twijfelden aan het correct zijn van hun antwoord, maar daar overheen stapten en gewoon aan de volgende vraag begonnen.

De derde ronde leverde op dit punt geen vergelijkbare voorbeelden op. Het is mogelijk dat ook in deze ronde de leerlingen in de meer gestructureerde conditie de totale situatie wat uit het oog verloren, maar dat leidde er niet toe dat ze echt fouten maakten of vast kwamen te zitten. Er zijn twee verklaringen denkbaar voor het verschil tussen de tweede en de derde ronde. De eerste is dat de taken in de derde ronde verder waren uitontwikkeld en daarmee eenvoudiger geworden. Voor wat betreft de reuzenrad-taak was er in ieder geval een aanzienlijk verschil tussen de twee rondes. Een andere verklaring kan zijn dat de leerlingen in de derde ronde wat beter waren in wiskunde en daarom niet vastliepen bij de opdrachten.

Samenvattend kan gesteld worden dat in de protocollen zowel de zwakke kanten van een *minder* gestructureerde versie als de zwakke kanten van een *meer* gestructureerde versie naar voren komen. Het gevaar van een minder gestructureerde versie is met name dat leerlingen vragen oppervlakkig beantwoorden, zonder de doordenking waar het de ontwikkelaar in feite om te doen was. Het gevaar van een meer gestructureerde versie is dat leerlingen de als ondersteuning bedoelde vragen opvatten als losse opdrachten, zonder dat ze de relatie zien met het geheel. De gegevens die wij hebben laten het niet toe om te stellen dat de nadelen van de ene versie die van de andere versie overtreffen.

Bij wat als zwakke punten van de versies genoemd is gaat het in feite om een vergelijkbaar fenomeen, want het komt er in beide gevallen op neer dat leerlingen alleen oog hebben voor die ene vraag die ze moeten beantwoorden. Welke consequenties heeft dit voor het ontwerpen van leertaken? Aan de ene kant onderstreept het dat een ontwerper zeer zorgvuldig te werk moet gaan en moet anticiperen op de mogelijkheid dat leerlingen vragen heel 'plat' opvatten. De vangnet-vragen bij Hardlopen lijken een goed voorbeeld van hoe een combinatie van vragen tot de gewenste doordenking bij leerlingen kan leiden. Tegelijkertijd kan echter een conclusie zijn dat leerlingen moeten worden opgevoed tot een meer onderzoekende houding, waarin het analyseren van de situatie voorop zou moeten staan, en niet zozeer het beantwoorden van vragen.

In feite gaat het om het (kunnen) nemen van verantwoordelijkheid, c.q. de vraag van de docent of het materiaal tot je eigen vraag maken. Zowel te veel als te weinig structuur maken dat de leerlingen die verantwoordelijkheid niet voldoende nemen. Belangrijke factoren zijn hierbij de verwachtingen (normen) en de (intrinsieke) motivatie die de taak oproept.

# 8 GESTRUCTUREERDE PROTOCOLANALYSE

Aan de hand van het POATS-systeem, beschreven in het laatste deel van hoofdstuk 3, is in de derde ronde van het onderzoek het proces van oplossen van de gestelde opdrachten door de leerlingen geanalyseerd. Met name wordt nagegaan in hoeverre de meer en minder gestructureerde aanbiedingen van de taakopdrachten tot verschillen leiden in het proces van probleemoplossen, van samenwerken en van begeleiden door de docent. De vraagstellingen in het onderzoek met betrekking tot deze aspecten (zie paragraaf 2.5 in hoofdstuk 2) zijn:

a) Als wij het interpreteren en tekenen van grafieken zien als een vorm van probleemoplossen, is de onderzoeksvraag: hoe verloopt het probleemoplossen in deze leeromgeving; in hoeverre is er een verschil in de manier van probleemoplossen in de meer versus de minder gestructureerde conditie?
b) In hoeverre heeft de mate van structuur invloed op de samenwerking tussen tweetallen van leerlingen?
c) Wat is de rol van de 'docent' in deze ICT-leeromgeving? Gegeven het doel van zelfstandig leren is de rol van de docent zo terug houdend mogelijk gedacht. In hoeverre is het efficiënt om de rol van de docent te minimaliseren?

De bovenstaande vraagstellingen zijn geoperationaliseerd in een zestal specifieke onderzoeksvragen die met de observatiegegevens verzameld met het POATS-systeem beantwoord kunnen worden.

**ad a) Invloed op het proces van probleemoplossen**
Met betrekking tot de eerste vraagstelling verwachten wij dat de minder gestructureerde versie met alleen de kernopdrachten zal stimuleren tot relatief meer probleemoplosactiviteiten van de leerlingen, met name in meer zelfgeconstrueerde probleemdefinities, in langduriger periodes van probleemdefiniëring en herformulering en in het algemeen in een meer flexibele fasering in het proces van probleemoplossing. Deze verwachtingen zullen aan de hand van de volgende vier onderzoeksvragen worden nagegaan:

1) *In hoeverre verschilt het aantal episodes van Probleemdefinitie (P), Oplossing (O) en Afhandeling (A) in de taakuitvoering in de minder gestructureerde versie met die van de meer gestructureerde versie van de MiM-taken?*

2) *Worden bij de minder gestructureerde versie soortgelijke probleemdefinities geformuleerd als de gegeven steunopdrachten bij de meer gestructureerde versie?*

3) *Wordt bij de minder gestructureerde versie gemiddeld meer tijd besteed aan Probleemdefinitie (P), Oplossen (O) en Afhandelen (A) dan in de meer gestructureerde versie?*

4) *Vinden er bij de minder gestructureerde versie naar verhouding meer herzieningen plaats tussen de fasen Probleemdefinitie (P), Oplossen (O) en Afhandelen (A) dan bij de meer gestructureerde versie van de MiM-taken?*

**ad b) Invloed op de samenwerking**

Ten aanzien van de tweede vraagstelling vragen wij ons af in hoeverre de mate van structurering in de taak het proces van samenwerking ondersteunt. Als indicatie van de kwaliteit van de samenwerking wordt de mate van gelijkwaardigheid of symmetrie in bijdrage aan het oplosproces tussen de leerlingen genomen. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvraag:

5) *In hoeverre verschilt de onderlinge verdeling in bijdrage aan probleemoplosactiviteiten in de samenwerking tussen de leerlingen in de minder en meer gestructureerde versies van de taken: voorwat betreft het nemen van initiatieven ten aanzien van Probleemstellen, Oplossen en Afhandelen?*

**ad c) Invloed op de begeleidende rol van de docent**

Verwacht mag worden dat een minder gestructureerde en meer open taaksituatie zal leiden tot een grotere begeleidende rol van de docent. Niet alleen zullen leerlingen meer geneigd zijn om hulp te vragen indien zij zelfstandig een onderzoeksopdracht moeten uitvoeren, maar ook de docent zal mogelijk meer geneigd zijn begeleiding te bieden indien blijkt dat de leerlingen een verkeerde weg inslaan of niet verder komen. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvraag:

6) *Wordt bij de minder gestructureerde versie meer hulp gevraagd aan of gegeven door de docent dan bij de meer gestructureerde versie?*

In dit hoofdstuk zullen wij deze onderzoeksvragen één voor één nalopen en voor zover mogelijk toetsen. Er is in alle gevallen gebruik gemaakt van de non-parametrische Mann-Whitney toets, met de conditie (minder gestructureerd versus meer gestructureerd) als onafhankelijke variabele en de bevraagde variabele als afhankelijke variabele. Wij hebben gekozen voor de Mann-Whitney-toets vanwege de scheve verdeling van de scores en het kleine aantal onderzoekseenheden. De toetsen zijn per MiM-taak uitgevoerd. De drie taken die worden geanalyseerd zijn Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen. Eerst zal echter de betrouwbaarheid van het POATS-systeem als coderingssysteem worden nagegaan.

## 8.1 Interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van het Poats-systeem

Het POATS-coderingssysteem van probleemoplossing op de MiM-taken is in een tweetal ronden ontwikkeld en uitgeprobeerd totdat duidelijke criteria voor de codering van de verschillende categorieën konden worden geformuleerd en een bevredigende interbeoordelaarsbetrouwbaarheid kon worden bereikt. De interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van de uiteindelijke versie van het POATS-systeem is met het MEPA-programma berekend op grond van een door twee beoordelaars onafhankelijk gecodeerd protocol van 229 regels. In Tabel 8.1 zijn de belangrijkste resultaten van deze berekening weergegeven.

Tabel 8.1 Interbeoordelaarsovereenkomst en Cohen's kappa met betrekking tot de POATS-variabelen actie, opdracht en leerkracht , zowel episode-based als time-based berekend voor episode of toestandvariabelen

| | **Episode-based** *(zonder episode-filling)* | | **Time-based** *(met episode-filling)* | |
|---|---|---|---|---|
| POATS-variabelen: | *Percentage overeenkomst* | *Cohen's kappa* | *Percentage overeenkomst* | *Cohen's kappa* |
| Actie | 87.67% | .81 | 94.06% | .90 |
| Opdracht | 95.89% | .85 | 94.98% | .94 |
| Leerkracht | 99.09% | .86 | nvt | nvt |

In de tabel worden voor de variabelen Actie, Opdracht en Leerkracht de percentages overeenkomst in codering tussen de beoordelaars en de Cohen's kappa weergegeven. Ten aanzien van zogenaamde duur- of *state*-variabelen die een toestand van een systeem gedurende een bepaalde episode aangeven (zie paragraaf 3.6.3), kunnen deze betrouwbaarheidsmaten op twee manieren berekend worden: zonder 'episode-filling' en met 'episode-filling'. De betrouwbaarheidsberekening zonder 'episode-filling' berekent de mate waarin zowel het startpunt als de codering van de gehele episode gelijk zijn. Deze is het meest kritisch omdat een kleine verschuiving in de codering in de tijd bij twee beoordelaars tot een relatief sterke vermindering in de mate van overeenkomst leidt. In de betrouwbaarheidsberekening met 'episode-filling' daarentegen worden alle meetpunten in de episode dezelfde code toegekend en in de berekening van de mate van overeenkomst meegenomen. Een kleine verschuiving in het startpunt van een verder overeenkomstig gecodeerde episode door twee beoordelaars heeft daarbij minder gevolgen vanwege de overkomst in gecodeerde meetpunten voor de rest van episode. Bakeman en Quera (1995) maken een vergelijkbaar onderscheid tussen *episode-based* kappa's en *time-based* kappa's (respectievelijk zonder of met 'episode-filling'). Zij prefereren daarbij de *time-based* kappa, omdat deze meer recht doet het voortdurende beslissingsproces van de observator/beoordelaar die voor ieder meetpunt in een protocol of gedragsstroom de toestand van het systeem moet (her)bepalen.

De interbeoordelaarsbetrouwbaarheden volgens beide berekeningen zijn zeer bevredigend. De Cohen's kappa van de Actie-variabele (P, O, A, T, S) is 0.81 zonder 'episode-filling' en 0.90 met 'episode-filling'. De kappa's van de codering van de opdrachten en steunopdrachten zijn eveneens zeer hoog; respectievelijk 0.85 en 0.94. De codering van de acties van de leerkracht komt uit op een kappa van 0.86. Geconcludeerd kan worden dat de codering van dialoogprotocollen met het POATS-systeem naar aspecten van het proces van probleemoplossing op een betrouwbare wijze kan geschieden.

## 8.1 Aantal probleemdefinities

Zoals eerder aangegeven wordt in de minder gestructureerde versie vrij direct de kernopdracht gesteld, in de vorm van een of meer onderzoeksvragen. In de meer gestructureerde versie wordt de kernopdracht ingeleid door een aantal steunopdrachten, deelvragen die de leerlingen steun moeten bieden bij het oplossen van de uiteindelijke kernopdracht. De verwachting is dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie de steunopdrachten in de vorm van deelvragen zelf zullen opstellen. Wij verwachten dat de leerlingen de kernopdracht zullen opsplitsen in kleinere deelvragen. Het is daarbij de vraag in hoeverre deze zelfgeconstrueerde deelvragen overeenkomen met de steunopdrachten uit de meer gestructureerde versie. Wanneer dit het geval is, zal het aantal probleemdefinities niet verschillen in de twee afnamecondities. Bij de probleemdefiniering kan zo een onderscheid gemaakt worden tussen de zelfgeconstrueerde en de in het materiaal voorkomende probleemdefinities. Onder de in het materiaal voorkomende probleemdefinities worden de problemen verstaan die in de kern- en steunopdrachten aan de leerlingen gesteld zijn.
Eerst zullen wij de frequentie van het aantal episodes in de protocollen nagaan waarin problemen gedefinieerd worden. Dit betreft de eerste onderzoeksvraag:

1) *In hoeverre verschilt het aantal episodes van Probleemdefinitie (P), Oplossing (O) en Afhandeling (A) in de taakuitvoering in de minder gestructureerde versie met die van de meer gestructureerde versie van de MiM-taken?*

In eerste instantie wordt nagegaan of de twee groepen leerlingen in de twee condities verschillen wat betreft het aantal episodes van probleemdefiniëring dat gebruikt is. Opgemerkt dient te worden dat het hier gaat om het totaal aan probleemdefinities binnen een MiMtaak, niet alleen aan het begin van iedere opdracht, maar ook de herformuleringen en herhalingen van eerdere probleemdefinities. In Tabel 8.2 zijn de gemiddelden, standaard-deviaties en gemiddelde rangorde van het aantal probleemdefinities per taak voor de twee condities, getoetst met de Mann-Whitney toets weergegeven. Ter verduidelijking staat bij iedere taak in de twee condities tussen haakjes het aantal kernopdrachten plus eventueel het aantal steunopdrachten dat in de taak wordt gegeven. Verwacht mag worden dat voor iedere taak minimaal dit aantal probleemdefinities in de discussie tussen de leerlingen genoemd wordt.

Uit de tabel kunnen wij concluderen dat alleen bij Starten/Stoppen een significant verschil gevonden wordt: de leerlingen in de minder gestructureerde versie definiëren minder problemen dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie.
Kijken wij nu bij de andere twee MiM-taken naar de gemiddelden dan zien wij dat daar ook de leerlingen in de minder gestructureerde versie gemiddeld minder problemen definiëren dan de leerlingen in de gestructureerde versie. Wij kunnen bij Reuzenrad en Hardlopen dus spreken van een tendens in dezelfde richting.

Tabel 8.2 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van het aantal Probleemdefinitie-episodes per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op de taken Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen

| | | *N* | *Mean* | *Std.Dev* | *Mean Rank* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Reuzenrad** | Minder structurering (2) | 3 | 6.66 | 2.51 | 2.33 | |
| | Meer structurering (2 + 6) | 3 | 10.00 | 1.73 | 4.67 | |
| **Hardlopen** | Minder structurering (3) | 2 | 8.50 | .70 | 1.50 | |
| | Meer structurering (3 + 17) | 3 | 23.33 | 7.37 | 4.00 | |
| **Start/Stoppen** | Minder structurering (2+3) | 4 | 20.50 | 7.68 | 2.63 | * |
| | Meer structurering (2 + 15) | 3 | 33.00 | 3.60 | 5.83 | |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Indien wij echter rekening houden met het aantal gegeven opdrachten (tussen haakjes achter de conditie in Tabel 8.2 weergegeven) dan blijkt voor iedere taak dat de verhouding van het aantal geformuleerde probleemdefinities op het aantal gestelde opdrachten voor de minder gestructureerde versie steeds het grootst is: Reuzenrad: 3.3 versus 1.3; Hardlopen: 2.8 versus 1.2 en Starten/Stoppen: 4.1 versus 1.9. Terwijl in de minder gestructureerde versie 3 tot 4 keer zoveel probleemdefinities worden geformuleerd als het aantal gestelde opdrachten, is dat in de meer gestructureerde versie van de taken slechts ongeveer 1½ keer het geval.

In Tabel 8.3 zijn ter vergelijking eveneens het gemiddeld aantal episodes van Oplossingen en Afhandelingen per conditie over de drie taken weergegeven. Alleen ten aanzien van het aantal oplossingsperiodes die gevonden worden bij het Reuzenrad wordt een signifikant verschil gevonden: gemiddeld worden in de meer gestructureerde versie meer oplossingen gevonden. Voor Hardlopen en Starten/Stoppen worden in de meer gestructureerde versie weliswaar meer oplossingen gevonden maar gezien het aantal gestelde opdrachten relatief weinig. De verhoudingen tussen het aantal episodes met oplossingen ten opzichte van het aantal gestelde opdrachten is voor de minder gestructureerde versie ten opzichte van de meer gestructureerde versie: Reuzenrad: 5.6 versus 2.3; Hardlopen: 10.3 versus 1.9 en Starten/Stoppen: 8.2 versus 3.2. Er zijn in de minder gestructureerde versie gemiddeld 6 tot 10 keer zoveel episodes waarin op-

lossingen worden geformuleerd dan dat er opdrachten gesteld zijn, in de meer gestructureerde versie is dat 2 tot 3 keer zoveel.

Hetzelfde geldt voor het aantal afhandelingen. Met betrekking tot het Reuzenrad en Starten/Stoppen worden in de meer gestructureerde versie meer afhandelingsepisoden gevonden (niet significant). Relatief gezien worden ten aanzien van het aantal gestelde opdrachten de volgende verhoudingen tussen de minder en meer gestructureerde versie gevonden: Reuzenrad: 4.5 versus 1.5; Hardlopen: 8.5 versus 1.3 en Starten/Stoppen: 5.7 versus 2.3.

Tabel 8.3 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van het aantal Oplossingen en Afhandelingen per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op de taken Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen

| **Reuzenrad** | | *N* | *Mean* | *Std.Dev.* | *Mean Rank* |
|---|---|---|---|---|---|
| Oplossingen | Minder structurering (2) | 3 | 11.33 | .58 | 2.00 * |
| | Meer structurering (2 + 6) | 3 | 18.00 | 4.58 | 5.00 |
| Afhandelingen | Minder structurering (2) | 3 | 9.00 | 2.65 | 2.83 |
| | Meer structurering (2 + 6) | 3 | 12.00 | 4.58 | 4.17 |
| **Hardlopen** | | *N* | *Mean* | *Std.Dev.* | *Mean Rank* |
| Oplossingen | Minder structurering (3) | 2 | 31.50 | 3.53 | 2.50 |
| | Meer structurering (3 + 17) | 3 | 38.33 | 17.58 | 3.33 |
| Afhandelingen | Minder structurering (3) | 2 | 25.50 | .71 | 3.50 |
| | Meer structurering (3 + 17) | 3 | 25.33 | 3.32 | 2.67 |
| **Starten/Stoppen** | | *N* | *Mean* | *Std.Dev.* | *Mean Rank* |
| Oplossingen | Minder structurering (2+3) | 4 | 41.25 | 13.89 | 3.00 |
| | Meer structurering (2 + 15) | 3 | 54.00 | 8.89 | 5.33 |
| Afhandelingen | Minder structurering (2+3) | 4 | 28.50 | 11.73 | 2.88 |
| | Meer structurering (2 + 15) | 3 | 43.33 | 8.02 | 5.50 |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Geconcludeerd kan worden dat de leerlingen in de minder gestructureerde conditie in totaal duidelijk minder probleemdefinities formuleren dan de stappen die in de vorm van steunopdrachten in de meer gestructureerde versie worden aangereikt. In verhouding worden in de minder gestructureerde versie echter meer problemen ge(her)-definieerd, opgelost en afgehandeld indien wij deze relateren aan het aantal kern- en steunopdrachten die in de taken gesteld worden. Verondersteld kan worden dat de algemene onderzoeksopdrachten in de minder gestructureerde versie tot relatief meer activiteiten van probleem-(her)formulering en oplossen stimuleren. Van belang is nu om na te gaan in hoeverre het hierbij gaat om herformuleringen dan wel om nieuwe, zelfgeconstrueerde probleemdefinities.

## 8.2 Zelfgeconstrueerde probleemdefinities

Eerder is gesteld dat er bij de probleemdefinities een onderscheid valt te maken tussen de probleemdefinities die in de vorm van de gestelde opdrachten door het materiaal worden aangereikt en de probleemdefinities die de leerlingen zelf construeren. Aangezien in de gestructureerde versie meer probleemdefinities worden aangedragen door middel van de steunopdrachten voorafgaand aan de kernopdracht, kunnen wij verwachten dat leerlingen die werken met deze versie minder problemen zelf zullen construeren dan de leerlingen in de minder gestructureerde versie. Daarnaast zal gekeken worden naar de overeenkomst tussen de verschillende probleemdefinities. Deze analyse betreft de tweede onderzoeksvraag:

2) *Worden bij de minder gestructureerde versie soortgelijke probleemdefinities geformuleerd als de gegeven steunopdrachten bij de meer gestructureerde versie?*

Wij verwachten dat bij de minder gestructureerde versie meer probleemdefinities zelf geconstrueerd worden dan bij de meer gestructureerde versie. De zelfgeconstrueerde probleemdefinities van leerlingen in de minder gestructureerde versie zullen overeen komen met de steunopdrachten uit de meer gestructureerde versie. In Tabel 8.4 wordt een overzicht gegeven van het aantal zelfgeconstrueerde probleemdefinities in de verschillende condities voor de drie taken.

Bij het Reuzenrad wordt door de leerlingen in de minder gestructureerde versie geen enkele keer een zelfgeconstrueerde probleemdefinitie gebruikt die overeenkomt met de gestelde vragen in de steunopdrachten uit de meer gestructureerde versie. Omgekeerd komt ook niet voor.
Binnen de minder gestructureerde versie van het Reuzenrad wordt in totaal twee keer een 'nieuwe' probleemdefinitie gebruikt. Leerlingen vragen zich bijvoorbeeld af hoeveel bakjes het reuzenrad bevat. Dit is voor de oplossing van het probleem een relevante vraag. Beide keren gebeurde dit door leerlingen met de minder gestructureerde versie.

Tabel 8.4 Aantal zelfgeconstrueerde Probleemdefinities in meer gestructureerde en minder gestructureerde versies bij de taken Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen

| | | *P uit minder gestructureerde versie* | *P uit meer gestructureerde versie* | *Nieuwe P* |
|---|---|---|---|---|
| **Reuzenrad** | Minder structurering | - | 0 | 2 |
| | Meer structurering | 0 | - | 0 |
| **Hardlopen** | Minder structurering | - | 2 | 1 |
| | Meer structurering | 0 | - | 2 |
| **Starten/Stoppen** | Minder structurering | - | 2 | 5 |
| | Meer structurering | 1 | - | 3 |

Bij Hardlopen wordt twee keer door leerlingen in de minder gestructureerde versie een zelfgeconstrueerde probleemdefinitie gebruikt die overeenkomt met een probleemdefinitie uit de steunopdrachten in de meer gestructureerde versie. Andersom komt dit ook hier niet voor.
Binnen Hardlopen worden twee zelfgeconstrueerde probleemdefinities geformuleerd. De eerste wordt gebruikt door leerlingen uit de gestructureerde conditie. De tweede wordt in beide condities 1 keer gebruikt.
Bij Starten/Stoppen wordt twee keer een zelfgeconstrueerde probleemdefinitie gebruikt in de minder gestructureerde versie die overeenkomt met een probleemdefinitie uit de meer gestructureerde versie. Eén keer wordt er door een tweetal uit de gestructureerde versie een zelfgeconstrueerde probleemdefinitie gebruikt die overeenkomt met een probleemdefinitie zoals die in de minder gestructureerde versie werd geformuleerd.
Binnen Starten/Stoppen worden in het totaal 6 'nieuwe' probleemdefinities gebruikt. Vier daarvan door leerlingen uit de minder gestructureerde versie, een door een tweetal met de meer gestructureerde versie en de laatste wordt door een tweetal met de minder gestructureerde versie gebruikt en door twee tweetallen met de meer gestructureerde versie. Met name het probleem van het tekenen van de afstandsgrafiek roept vragen en hernieuwde definiëring van de opgave op.

De aantallen zelfgeconstrueerde probleemdefinities is bij beide condities op de drie MiM-taken te weinig om statistisch te toetsen. Wel zien wij dat het aantal zelfgeconstrueerde probleemdefinities volgens verwachting in de minder gestructureerde versie enigszins hoger ligt dan in de meer gestructureerde versie. Bovendien kan geconcludeerd worden dat het aantal nieuw geformuleerde probleemdefinities voor deelvragen conform de verwachting samenhangt met de complexiteit en moeilijkheidsgraad van de taak.

## 8.3 Duur van episodes van probleemoplossing

Uit onderzoeksvraag 1 en 2 blijkt dat de leerlingen in minder gestructureerde conditie minder probleemvragen definiëren dan de leerlingen die de gestructureerde versie gebruiken. Interessant is nu te kijken naar de tijd die besteed wordt aan episodes waarin de leerlingen het probleem definiëren in vergelijking met de tijd die voor het vinden van een oplossing besteed wordt. Verwacht wordt dat de duur van de episodes waarin de leerlingen bezig zijn met het formuleren van het probleem of het vinden van de oplossing in de minder gestructureerde versie over het algemeen langer zal zijn dan in de meer gestructureerde versie. Ten aanzien van de duur van de episodes van afhandeling van een gevonden oplossingen verwachten wij dat dit weinig verschil zal uitmaken. Dit wordt weergegeven in onderzoeksvraag 3.

3) *Wordt bij de minder gestructureerde versie gemiddeld meer tijd besteed aan Probleemdefinitie (P), Oplossen (O) en Afhandelen (A) dan in de meer gestructureerde versie?*

Voor deze onderzoeksvraag is gekeken naar de gemiddelde tijd besteed aan probleemstellen, oplossen of afhandelen. Deze tijd is de gemiddelde tijd in seconden die besteed wordt per episode of fase van probleemdefiniëring, oplossing vinden of noteren van de gevonden oplossing.

In Tabel 8.5 worden de gemiddelde tijden in seconden besteed aan episodes van Probleemdefinitie, Oplossen en Afhandelen weergegeven voor de drie MiMtaken per conditie.
Voor zowel de gemiddelde duur van probleemdefinitie als van oplossen zijn bij de taken Reuzenrad en Hardlopen geen significante verschillen gevonden tussen de twee condities. Wel zijn bij deze twee taken de gemiddelde duur voor beide aspecten in de minder gestructureerde conditie steeds langer in vergelijking met de meer gestructureerde versie. Bij Starten/Stoppen zien wij bij beide categorieën een significant verschil waarbij de leerlingen in de minder gestructureerde conditie meer tijd besteden aan zowel het definiëren van het probleem als het oplossen ervan.
Gezien de verschillen in gemiddelden bij Reuzenrad en Hardlopen kan over het geheel gesproken worden van een overeenkomende tendens waarbij de leerlingen in de minder gestructureerde versie gemiddeld meer tijd aan beide fasen in het proces van probleemoplossen besteedden dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie.

Tabel 8.5 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van tijd in seconden besteed aan Probleemdefinitie en Oplossen per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op de taken Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen

| **Reuzenrad** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tijd aan Probleem-definitie | Minder structurering | 3 | 17.71 | 8.87 | 4.00 | |
| | Meer structurering | 3 | 12.93 | 4.58 | 3.00 | |
| Tijd aan Oplossen | Minder structurering | 3 | 55.86 | 39.35 | 4.00 | |
| | Meer structurering | 3 | 46.27 | 25.03 | 3.00 | |
| Tijd aan Afhandelen | Minder structurering | 3 | 58.22 | 27.07 | 4.33 | |
| | Meer structurering | 3 | 33.62 | 9.87 | 2.67 | |
| **Hardlopen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
| Tijd aan Probleem-definitie | Minder structurering | 2 | 12.22 | 4.72 | 4.50 | |
| | Meer structurering | 3 | 5.08 | 1.35 | 2.00 | |
| Tijd aan Oplossen | Minder structurering | 2 | 19.87 | 6.71 | 4.50 | |
| | Meer structurering | 3 | 13.64 | .88 | 2.00 | |
| Tijd aan Afhandelen | Minder structurering | 2 | 17.63 | 8.41 | 4.00 | |
| | Meer structurering | 3 | 12.80 | 3.89 | 2.33 | |
| **Starten/Stoppen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
| Tijd aan Probleemdefinitie | Minder structurering | 4 | 13.65 | 3.39 | 5.50 | * |
| | Meer structurering | 3 | 7.92 | .77 | 2.00 | |
| Tijd aan Oplossen | Minder structurering | 4 | 33.42 | 8.33 | 5.50 | * |
| | Meer structurering | 3 | 20.59 | 3.03 | 2.00 | |
| Tijd aan Afhandelen | Minder structurering | 4 | 42.75 | 29.04 | 5.00 | |
| | Meer structurering | 3 | 20.44 | 3.37 | 2.67 | |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Voor wat betreft de gemiddelde duur die aan episodes van afhandeling wordt besteed zijn geen verschillen gevonden tussen de versies van alle drie de taken. In tegenstelling tot onze verwachting is echter ook hier sprake van een tendens van langere episodes van afhandeling in de minder gestructureerde versie ten opzichte van de meer gestructureerde versie bij alle drie taken (zie Tabel 8.5).

Bovenstaande vaststelling dient vanzelfsprekend in het het licht gezien te worden van de totale tijd die de leerlingen gemiddeld aan de MIM-taken in de twee condities besteden. Bovendien is het van belang om te weten of de onderscheiden episodes ook inderdaad met discussie en/of andere activiteiten vervuld worden. In Tabel 8.6 wordt een overzicht gegeven van de gemiddelde totaaltijd van taakuitvoering in minuten in de twee versies van de taken. Bovendien worden de gemiddelde aantallen activiteiten per episode in de twee condities weergegeven.

Tabel 8.6 Gemiddelde totaaltijd taakuitvoering en gemiddeld aantal (verbale) handelingen in Probleemdefinitie-, Oplossen- en Afhandeling-episodes bij de taken Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen

| | | *Totaaltijd taakuitvoering in minuten* | *Aantal (verbale) handelingen per episode van:* | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Probleem-definitie | Oplos-sen | Afhan-delen |
| **Reuzenrad** | Minder structurering | 28.8 | 1.3 | 3.2 | 2.5 |
| | Meer structurering | 34.4 | 1.1 | 3.7 | 1.3 |
| **Hardlopen** | Minder structurering | 29.0 | 1.4 | 3.8 | 1.6 |
| | Meer structurering | 22.4 | 1.2 | 2.9 | 1.5 |
| **Starten/ Stoppen** | Minder structurering | 68.2 | 1.9 | 5.8 | 2.6 |
| | Meer structurering | 53.8 | 1.4 | 4.8 | 3.1 |

Zoals uit de tabel blijkt, is de tijd die de leerlingen aan Reuzenrad en Hardlopen besteden vergelijkbaar: rond de 30 minuten voor het Reuzenrad en rond de 25 minuten voor Hardlopen. De taakuitvoeringstijd bij Starten/Stoppen is aanzienlijk langer, ongeveer een uur. Bovendien is het tijdsverschil tussen de versies groter: in de minder gestructureerde versie zijn de leerlingen ongeveer een kwartier langer bezig. Indien wij kijken naar het gemiddeld aantal uitspraken of handelingen dat in de probleemoplosfasen wordt verricht, dan blijkt dat over het geheel genomen de minder gestructureerde versie ten opzichte van de meer gestructureerde versie niet alleen langere episodes kent, maar dat deze gemiddeld ook meer (verbale) handelingen omvatten: Probleemdefinitie 1.5 versus 1.2, Oplossen 4.3 versus 3.8 en Afhandelen 2.2 versus 2.0 (gemiddeld over de drie taken). Gesteld kan worden dat de leerlingen in de onderscheiden fasen in de minder gestructureerde versie relatief meer met elkaar overleggen of andere activiteiten ontplooien. De verschillen zijn echter klein.

Geconcludeerd kan worden dat aan de verschillende fasen in het proces van probleemoplossen in de minder gestructureerde versie van de taakopdrachten gemiddeld langer tijd wordt besteed en meer activiteiten van de leerlingen omvat.

## 8.4 Herzieningen in probleemoplosactiviteiten

Een volgende onderzoeksvraag die in dit kader relevant is, betreft de vraag in hoeverre de mate van structurering van de taken aanleiding geeft tot herzieningen en herformuleringen in de verschillende fasen van het probleemoplosproces. Verwacht wordt dat de minder gestructureerde versie stimuleert tot meer bewuste aandacht en reflectie op het oplosproces en zo zal resulteren in meer revisie en verbetering van de doorlopen stappen. Wij verwachten dan ook dat in de minder gestructureerde versie een meer afwisselend patroon van opeenvolgende episodes in het proces van probleemoplossen

zal plaatsvinden dan de het standaard patroon: probleemdefinitie, oplossing en afhandeling (P > O >A).
Deze onderzoeksvraag luidt dan ook als volgt:

4) *Vinden er bij de minder gestructureerde versie naar verhouding meer herzieningen plaats tussen de fasen Probleemdefinitie (P), Oplossen (O) en Afhandelen (A) dan bij de meer gestructureerde versie van de MiM-taken?*

Voor deze onderzoeksvraag is gebruik gemaakt van transitie-kappa's. Deze kappa's geven de mate aan waarin een overgang tussen twee categorieën meer of minder plaatsvindt dan op basis van toeval verwacht mag worden (Wampold, 1992). Gekeken is naar de kappa's P>O, O>A en A>P, omdat deze de verwachte volgorde impliceert. Hoe hoger de kappa's op deze transities des te minder afwijkingen of herzieningen er plaats hebben gevonden in de dialogen.

Indien wij kijken in Tabel 8.7 naar de transitie-kappa's bij het Reuzenrad blijkt met name de overgang van A naar P een afwijking te vertonen. Deze is significant. De kappa is bij de minder gestructureeerde versie lager dan bij de meer gestructureeerde versie. Dit betekent dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie meer afwijken van de vaste volgorde probleemdefinitie, oplossen, afhandelen waarbij na afhandelen weer een nieuwe probleemdefinitie volgt, dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie. Anders gezegd worden in de minder gestructureerde versie meer wijzigingen en herzieningen in eerdere probleemdefinities, oplossingen en afhandelingen gemaakt dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie die door de steunopdrachten gestuurd worden.

Voor wat betreft de Hardlopen taak zijn geen significante verschillen tussen de condities gevonden (zie Tabel 8.7). Verschil met het Reuzenrad is dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie een hogere kappa hebben wat betreft de overgang P naar O, dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie.

Bij Starten/Stoppen wordt een significant verschil gevonden ten aanzien van de overgang A naar P, net als bij het Reuzenrad. Voor beide condities geldt bovendien voor deze overgang dat de kappa erg laag is. Dit wil zeggen dat bij Starten/Stoppen meer herzieningen en herformuleringen plaatsvinden en dus niet een strakke, vaste volgorde wordt gevolgd van afhandeling naar probleemdefinitie. Dit heeft misschien als oorzaak dat Starten/Stoppen een relatief moeilijke taak is.

In het algemeen kan geconcludeerd worden dat de kappa's wat betreft de overgang A-P bij beide condities relatief lager zijn dan de overgangen van de overige categorieen. Bij het Reuzenrad en bij Starten/Stoppen is de overgang van A naar P significant waarbij de leerlingen in de minder gestructureerde conditie meer afwijken dan de leer-

lingen in de gestructureerde conditie. Wat betreft de overige overgangen zijn de kappa's naar hoogte over het algemeen vrij overeenkomstig.

Tabel 8.7 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van transitiekappa's voor de overgangen P > O, O > A en A > P per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op de MiM-taken het Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen.

| **Reuzenrad** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P > O | Minder structurering | 3 | .74 | .32 | 3.50 | |
| | Meer structurering | 3 | .79 | .19 | 3.50 | |
| O > A | Minder structurering | 3 | .76 | .20 | 3.00 | |
| | Meer structurering | 3 | .80 | .08 | 4.00 | |
| A > P | Minder structurering | 3 | .21 | .08 | 2.00 | * |
| | Meer structurering | 3 | .43 | .06 | 5.00 | |
| **Hardlopen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
| P > O | Minder structurering | 2 | .87 | .17 | 4.00 | |
| | Meer structurering | 3 | .64 | .17 | 2.33 | |
| O > A | Minder structurering | 2 | .56 | .19 | 1.50 | |
| | Meer structurering | 3 | .75 | .02 | 4.00 | |
| A > P | Minder structurering | 2 | -.19 | .12 | 1.50 | |
| | Meer structurering | 3 | .42 | .25 | 4.00 | |
| **Starten/Stoppen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
| P > O | Minder structurering | 4 | .39 | .21 | 3.63 | |
| | Meer structurering | 3 | .48 | .09 | 4.50 | |
| O > A | Minder structurering | 4 | .42 | .23 | 3.75 | |
| | Meer structurering | 3 | .51 | .10 | 4.33 | |
| A > P | Minder structurering | 4 | -.06 | .25 | 2.50 | * |
| | Meer structurering | 3 | .29 | .02 | 6.00 | |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Een tweede manier om naar de herzieningen te kijken is na te gaan hoeveel keer een P, O of A per opdracht, steunopdracht of subprobleem, voorkomt. Zonder herzieningen zou iedere categorie maar eenmaal voorkomen. Het gemiddeld aantal episodes van probleemdefinitie (P), oplossen (O) en afhandelen (A) is per (deel)opdracht berekend en over de condities getoetst. De resultaten zijn in Tabel 8.8 weergegeven. Indien dit gemiddelde hoger dan 1 is, hebben herzieningen plaatsgevonden. Komt het gemiddelde onder de 1, dan wil dit zeggen dat een bepaalde categorie is overgeslagen.
Doordat de leerlingen in de minder gestructureerde versie slechts de kernopdracht aangeboden krijgen in tegenstelling tot de leerlingen in de meer gestructureerde versie die meerdere steunopdrachten krijgen, is de verwachting dat er bij de leerlingen in de minder gestructureerde versie meer herzieningen zullen plaatsvinden.

Tabel 8.8 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van herzieningen van P, O & A per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op het Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen.

| **Reuzenrad** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Herzieningen van P | Minder structurering | 3 | 2.11 | 1.02 | 4.17 | |
| | Meer structurering | 3 | 1.25 | .22 | 2.83 | |
| Herzieningen van O | Minder structurering | 3 | 3.47 | .65 | 4.83 | * |
| | Meer structurering | 3 | 2.25 | .57 | 2.17 | |
| Herzieningen van A | Minder structurering | 3 | 2.80 | 1.13 | 4.67 | |
| | Meer structurering | 3 | 1.50 | .57 | 2.33 | |
| **Hardlopen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
| Herzieningen van P | Minder structurering | 2 | 1.31 | .02 | 3.50 | |
| | Meer structurering | 3 | 1.41 | .27 | 2.67 | |
| Herzieningen van O | Minder structurering | 2 | 4.84 | .02 | 4.50 | |
| | Meer structurering | 3 | 2.26 | .78 | 2.00 | |
| Herzieningen van A | Minder structurering | 2 | 3.94 | .33 | 4.50 | |
| | Meer structurering | 3 | 1.46 | .29 | 2.00 | |
| **Starten/Stoppen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* | |
| Herzieningen van P | Minder structurering | 4 | 3.07 | 1.66 | 4.25 | |
| | Meer structurering | 3 | 1.76 | .14 | 3.67 | |
| Herzieningen van O | Minder structurering | 4 | 5.81 | 1.89 | 5.00 | |
| | Meer structurering | 3 | 2.92 | .63 | 2.67 | |
| Herzieningen van A | Minder structurering | 4 | 4.04 | 1.51 | 5.25 | |
| | Meer structurering | 3 | 2.32 | .46 | 2.33 | |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Alleen bij het Reuzenrad is wat betreft de herzieningen van gevonden Oplossingen een significant verschil te constateren. De leerlingen die werken met de minder gestructureerde versie, herzien de gevonden oplossingen meer dan de leerlingen die werken met de meer gestructureerde versie. Kijken wij nu naar de gemiddelden dan zien wij dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie, met uitzondering van de herzieningen omtrent het probleemstellen in Hardlopen, meer herzieningen en herformuleringen treffen bij iedere categorie. Dit kan dus als een algemene tendens beschouwd worden.

## 8.5 Verdeling van bijdragen

De vijfde onderzoeksvraag betreft de onderlinge verdeling van bijdragen van de leerlingen in het samenwerkingsproces gemeten aan het nemen van initiatieven door de twee partners. Hierbij wordt nagegaan in hoeverre de relatieve bijdragen van de beide leerlingen gelijkwaardig is en de samenwerking als symmetrisch gekenschetst kan worden, dan wel of er sprake is van een onevenredige verdeling van bijdragen van de leerlingen en dus van een asymmetrische samenwerking.

5) *In hoeverre verschilt de onderlinge verdeling in bijdrage aan probleemoplos-activiteiten in de samenwerking tussen de leerlingen in de minder en meer ge-*

*structureerde versies van de taken: voor wat betreft het nemen van initiatieven ten aanzien van Probleemstellen, Oplossen en Afhandelen?*

Wij hebben geen duidelijke verwachting met betrekking tot de onderlinge verdeling van het initiatief in de twee condities. Enerzijds is het mogelijk dat de meer gestructureerde versie door alle steunopdrachten en deelvragen aanleiding geeft tot een strakke taakverdeling tussen de leerlingen en zo tot een relatieve asymmetrie in de bijdragen. Anderzijds is het mogelijk dat het meer open karakter van de minder gestructureerde conditie waarin over aanpak van het probleem meer overlegd moet worden, de kans op een scheve rolverdeling of dominantie van een van de leerlingen in de interactie verhoogt.
Voor de beantwoording van deze onderzoeksvraag wordt gekeken naar de relatieve verhouding van initiatiefneming tussen de twee leerlingen. Als indicator van deze verhouding wordt het hoogste percentage initiatiefname van de leerlingen per tweetal genomen. In het algemeen is bij een percentage van 40-50% de relatieve bijdrage in initiatief tussen de deelnemers evenredig verdeeld. Aan de hand van de hoogte van het percentage boven de 40-50% kan iets gezegd worden over de scheefheid van deze onderlinge verdeling. Hierbij moet worden aangetekend dat naast de individuele acties van de leerlingen ook gezamelijk en gelijktijdige handelingen van de leerlingen zijn gecodeerd. Deze gezamelijk en gelijktijdige initiatieven komen echter relatief weinig voor en met name bij het noteren van de oplossingen in de afhandelingsfase.

In Tabel 8.9 zijn de percentages initatiefname over de drie taken in de twee condities weergegeven.

Er is geen significant verschil te zien tussen de beide condities. Gezien de gemiddelden kan gesteld worden dat de initiatiefnemingen tussen beide leerlingen binnen een tweetal redelijk gelijk is.

Tabel 8.9 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van het percentage initiatiefname per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op het Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen.

| | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* |
|---|---|---|---|---|---|
| **Reuzenrad** | Minder structurering | 3 | .62 | .07 | 3.00 |
| | Meer structurering | 3 | .67 | .08 | 4.00 |
| **Hardlopen** | Minder structurering | 2 | .56 | .02 | 3.00 |
| | Meer structurering | 3 | .61 | .12 | 3.00 |
| **Starten/Stoppen** | Minder structurering | 4 | .60 | .08 | 4.25 |
| | Meer structurering | 3 | .57 | .06 | 3.67 |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$ ** $p \leq 0.01$

Dit wil niet zeggen dat deze verdeling hetzelfde is bij alle categorieën. Daarom is ook nog gekeken naar de verhoudingen van initiatiefneming binnen de categorieën Probleemstellen (P), Oplossen (O) en Afhandelen (A). Een overzicht hiervan wordt in Tabel 8.10 gegeven.

Tabel 8.10 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van initiatiefnemingen tot P, O & A per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op het Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen.

| **Reuzenrad** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* |
|---|---|---|---|---|---|
| Initiatief tot P | Minder structurering | 3 | .94 | .09 | 5.00 * |
| | Meer structurering | 3 | .78 | .02 | 2.00 |
| Initiatief tot O | Minder structurering | 3 | .64 | .08 | 4.00 |
| | Meer structurering | 3 | .60 | .09 | 3.00 |
| Initiatief tot A | Minder structurering | 3 | .72 | .25 | 4.17 |
| | Meer structurering | 3 | .33 | .57 | 2.83 |
| **Hardlopen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* |
| Initiatief tot P | Minder structurering | 2 | .77 | .03 | 4.25 |
| | Meer structurering | 3 | .62 | .12 | 2.17 |
| Initiatief tot O | Minder structurering | 2 | .58 | .03 | 3.50 |
| | Meer structurering | 3 | .59 | .14 | 2.67 |
| Initiatief tot A | Minder structurering | 2 | .58 | .02 | 3.25 |
| | Meer structurering | 3 | .48 | .36 | 2.83 |
| **Starten/Stoppen** | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* |
| Initiatief tot P | Minder structurering | 4 | .69 | .11 | 3.75 |
| | Meer structurering | 3 | .71 | .05 | 4.33 |
| Initiatief tot O | Minder structurering | 4 | .54 | .17 | 3.50 |
| | Meer structurering | 3 | .57 | .04 | 4.67 |
| Initiatief tot A | Minder structurering | 4 | .60 | .02 | 4.38 |
| | Meer structurering | 3 | .58 | .03 | 3.50 |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$

Wij zien slechts in één geval een significant verschil, namelijk bij de initiatiefneming tot P in het Reuzenrad. De verdeling bij de leerlingen in de minder gestructureerde versie is daar significant schever dan bij de leerlingen in de meer gestructureerde versie. In de overige categorieën is geen sprake van significante verschillen. Kijken wij naar de gemiddelden dan zien wij dat ook uitgesplitst over de verschillende categorieën de verschillen relatief klein zijn.

De relatief lage percentages voor wat betreft initiatiefname in de afhandelingsfase, met name in de meer gestructureerde versie, laten zien dat in deze verdelingen (33%, 48% en 58%) ook de gezamelijk en gelijktijdige handelingen, zoals eerder vermeld, een rol spelen. Uit de protocollen bleek dat in de afhandelingsfase de leerlingen de gevonden oplossing vaak gelijktijdig noteerden, waarbij weinig of geen overleg plaatsvond.

Vooral de verschillende steunopdrachten in de meer gestructureerde versie gaven hier aanleiding toe

## 8.6 Hulpvragen

Uit de voorafgaande onderzoeksvraag bleek dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie meer herzieningen troffen dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie. Dit kan inhouden dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie meer moeite hadden met de opgaven en daarbij ook meer hulp nodig hadden. Wij zullen de mate waarin aan de leerlingen hulp is geboden onderzoeken aan de hand van de zesde onderzoeksvraag:

6) *Wordt bij de minder gestructureerde versie meer hulp gevraagd aan of gegeven door de docent dan bij de meer gestructureerde versie?*

In Tabel 8.11 worden het gemiddelde aantal keer dat de docent hulp biedt op de drie taken in de twee condities weergegeven.

Kijken wij naar de Mann-Whitney toets dan zien wij dat bij de drie taken de verschillen het significantie-niveau niet bereiken. Gezien de gemiddelden kunnen wij een tendens waarnemen, waarbij de leerlingen uit de minder gestructureerde conditie gemiddeld meer hulp hebben gekregen of gevraagd dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie. Dit geldt voor alle MiMtaken.

Tabel 8.11 Gemiddelde, standaard-deviatie en gemiddelde rangorde van het aantal keer hulp per conditie, getoetst met de Mann-Whitney toets, op het Reuzenrad, Hardlopen en Starten/Stoppen.

| | | *N* | *Mean* | *Std. Dev.* | *Mean Rank* |
|---|---|---|---|---|---|
| **Reuzenrad** | Minder structurering | 3 | 5.00 | 3.60 | 4.50 |
| | Meer structurering | 3 | 1.33 | 1.52 | 2.50 |
| **Hardlopen** | Minder structurering | 2 | 7.00 | 2.82 | 4.50 |
| | Meer structurering | 3 | 1.66 | 1.52 | 2.00 |
| **Starten/Stoppen** | Minder structurering | 4 | 25.50 | 32.06 | 4.38 |
| | Meer structurering | 3 | 9.00 | 8.88 | 3.50 |

Mann-Whitney toets: * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$

Deze tendens kan twee oorzaken hebben. Een eerste verklaring kan zijn dat de leerlingen de minder gestructureerde versie moeilijker vinden. Een tweede verklaring kan zijn dat het voor de leerlingen onduidelijk is wat er gevraagd wordt en hoe zij dit aan moeten pakken. Uit de interpretatieve analyse van de protocollen zijn indicaties gevonden dat de verklaring vooral gezocht moet worden in de moeilijkheidsgraad van de opdrachten in de minder gestructureerde versie (zie hoofdstuk 7).

## 8.7 Conclusies

Vanwege het kleine aantal onderzoekseenheden konden er slechts weinig significante verschillen gevonden worden. Wel kan gesproken worden van een aantal tendensen. Wij zullen hieronder de tendensen per vraagstelling samenvatten.
De eerste twee vraagstellingen gaan over het aantal en de aard van de probleemdefinities die door de leerlingen worden geformuleerd. De vraag is of het aantal probleemdefinities per conditie verschilt en of het aantal zelfgeconstrueerde probleemdefinities in de minder gestructureerde conditie hoger is.
Gebleken is dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie weliswaar minder problemen definiëren dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie, maar in verhouding tot het aantal in de taak gestelde opdrachten relatief meer probleemformuleringen geven. Deze probleemformuleringen kunnen zowel herformuleringen van het probleem betreffen als probleemdefinities zijn die zelf geconstrueerd zijn. Wat betreft de zelfgeconstrueerde probleemdefinities kan gesteld worden dat deze in beide condities weinig voorkomen, maar relatief meer in de minder gestructureerde versie.
Voor de derde vraagstelling waarin gevraagd wordt of de tijd besteed aan Probleemstellen, Oplossen of Afhandelen per conditie verschilt, kan geconcludeerd worden dat de leerlingen in de minder gestructureerde conditie gemiddeld meer tijd aan deze fasen besteden dan de leerlingen in de gestructureerde versie. Dit betekent dat de minder gestructureerde aanbieding van de kernopdrachten op zich niet leidt tot meer probleemformuleringen, maar wel tot langere periodes waarin het probleem bediscussieerd, geformuleerd en afgehandeld wordt. De verwachting dat minder structurering tot meer reflectie op het eigen oplosproces leidt, lijkt hiermee ondersteund.
In samenhang hiermee vroegen wij ons af of de minder gestructureerde versies van de MiM-taken aanleiding geven tot meer herzieningen en herformuleringen in vergelijking tot de meer gestructureerde versie. Wat betreft deze onderzoeksvraag kan gesproken worden van twee tendensen. De eerste is dat bij de overgang van afhandelen naar een nieuwe probleemdefinitie de leerlingen in de minder gestructureerde versie meer afwijken dan de leerlingen in de meer gestructureerde versie. Er is minder sprake van een vaste volgorde waarin de problemen opgelost worden en klaarblijkelijk een meer hiërarchische structuur in het proces van oplossen van het kernprobleem en de daarvoor benodigde deelproblemen. Een tweede tendens waarbij het gaat om de herzieningen binnen de verschillende categorieën is dat de leerlingen in de minder gestructureerde versie meer herzieningen treffen bij iedere categorie van probleemoplosactiviteiten. De minder gestructureerde versie leidt tot meer revisie en verbetering en stimuleert zo mogelijk tot meer bewuste aandacht en reflectie op het oplosproces. Over het geheel kan gesteld worden dat volgens verwachting de minder gestructureerde, open taaksituatie tot relatief meer, en meer gedifferentieerde probleemoplosactiviteiten aanleiding geeft in langduriger episodes. De vijfde onderzoeksvraag gaat over de symmetrie in de samenwerking tussen de leerlingen. Er is gekeken naar het nemen van initiatieven ten aanzien van het Probleemstellen, het Oplossen en het Afhandelen.

Over het algemeen kan gesteld worden dat er weinig verschillen te constateren zijn wat betreft de samenwerking tussen de leerlingen in de beide condities.
In de laatste onderzoeksvraag wordt gekeken of er verschil is tussen beide condities wat betreft het vragen van hulp aan de leerkracht. Er is een duidelijke tendens dat de leerlingen uit de minder gestructureerde versie meer hulp hebben ontvangen of gevraagd dan de leerlingen die werkten met de gestructureerde versie.
Opmerkelijk tenslotte is dat bij geen van de zes onderzoeksvragen een effect van de structureringswisseling tussen de MiM4 en MiM5 taken kan worden waargenomen. De gevonden verschillen en tendensen tussen de twee versies gelden over het geheel genomen voor alle drie MiM-taken, en dus ook voor MiM-taak 5, Starten/Stoppen, de taak die in de minder gestructureerde versie is aangeboden aan de tweetallen die de twee eerdere taken meer gestructureerd hadden gekregen en vice versa. De verschillen en tendensen die werden gevonden, betreffen dus een effect van de taakversie, van de mate van structurering in de taakopdracht, en niet een leereffect of een effect van specifieke kenmerken van de tweetallen. De kenmerken van de taakstructurering zijn kortom wezenlijke factoren die de aanpak van het probleemoplosproces, de samenwerking tussen de leerlingen en de begeleiding van de kant van de docent voor een groot deel bepalen.

# 9 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

## 9.1 Inleiding

Het doel van het onderzoek was te komen tot meer kennis over de mate van structuur die wenselijk is in een ICT-leeromgeving bij het leren van afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken. Wij richtten ons bij de uitwerking van structuur in de onderwijsleersituatie vooral op de vormgeving van de taak in het computerprogramma Measurement in Motion en het begeleidende schriftelijke materiaal waarin de opdrachten voor het interpreteren en tekenen van afstand-tijd en snelheid-tijd grafieken waren gegeven. Een van de bevindingen uit ons onderzoek is, dat dit een te beperkte uitwerking van structuur is. In feite bepalen alle vijf de actoren uit de didactische vijfhoek (zie Figuur 9.1) met de taak de mate van structuur die de leerling bij het uitvoeren van de taak ervaart. Verschillen in structuur bieden in dit onderzoek meer een beschrijvingskader in een ontwikkelingstraject dan een operationalisatie en toetsing van twee alternatieve theoretische uitgangspunten. In dit onderzoek is de focus gericht geweest op structurering door middel van steunopdrachten die naar de kernopdracht toe leiden tegenover structurering door de kernopdracht zelf.
Voor wij de conclusies met betrekking tot structuur verder uitwerken, lopen wij eerst de in hoofdstuk 2 gestelde onderzoekvragen door en geven wij een samenvattend antwoord. Wij gebruiken daarbij de informatie uit de verschillende gegevens en analysemethoden zoals deze in hoofdstuk 6, 7 en 8 zijn behandeld.

## 9.2 Onderzoekvragen en antwoorden

De vragen van het onderzoek waren:

1. Verwerven leerlingen in een ICT-leeromgeving voldoende inzicht in afstand-tijd- en snelheid-tijdgrafieken? Hierbij wordt het inzicht zowel bij het interpreteren als het tekenen van grafieken onderzocht.

Op de toetsen (tussentoets en natoets, zie hoofdstuk 6) scoorden de leerlingen redelijk goed. Bij de uitwerking van de opdrachten werd ook goed gescoord met uitzondering van de MiM5-taak (Starten/Stoppen met auto). Bij MiM5 deed zich het probleem voor dat de eindopdracht door de leerlingen anders werd opgevat dan door de ontwerpers bedoeld. Dit leidde ertoe dat de leerlingen voor de taak kwamen te staan afstand-tijdgrafieken uit snelheid-tijdgrafieken af te leiden, een taak die het niveau van het onderwijspakket ver oversteeg.
Bij de gestructureerde protocolanalyse (hoofdstuk 8) blijkt dat deze MiM5-taak (Starten/Stoppen) ook de meeste probleemdefinities, oplossingen en afhandelingen bij de leerlingen in beide condities oproept. Zij besteedden ook ruim twee keer zoveel tijd aan deze opgave.

2. Hoe en in welke mate heeft meer of minder structuur in de leeromgeving invloed op de leeractiviteiten van leerlingen bij afstand-tijd en snelheid-tijdgrafieken in het eerste leerjaar van het vo?. Bij de kwaliteit van de leeractiviteiten wordt gekeken naar de aanpak en de diepte of oppervlakkigheid van deze activiteiten.

Uitgangspunt van het onderzoek was dat teveel structuur tot een oppervlakkige aanpak zou leiden, in die zin, dat de leerlingen de deelvraagjes als op zichzelf staande vragen zouden beschouwen zonder zich in betekenis of samenhang te verdiepen. Op een zelfde manier veronderstelden wij zou te weinig structuur eveneens tot een oppervlakkige aanpak leiden, maar nu omdat de als onderzoeksopdrachten bedoelde vragen sterk antwoordgericht zouden worden opgevat en niet de doordenking zouden oproepen die was beoogd.

Beide fenomenen bleken zich inderdaad voor te doen. In de verschillende herzieningsronden is ernaar gestreefd deze negatieve effecten tegen te gaan. Deze verbeteringen leidden er in het algemeen toe dat de leerlingen in de laatste ronde geen grote problemen hadden met het uitvoeren van de taken (met uitzondering van de eerder genoemde MiM5 taak Starten/Stoppen). Wel blijkt uit de analyses van hoofdstuk 7 dat de eerder genoemde problemen zich in een aantal gevallen toch weer voordoen. Een goede manier om een oppervlakkige manier van werken te voorkomen blijkt het werken met zo genaamde vangnetopdrachten. Dit zijn opdrachten die niet sturend voorafgaand aan de kernopdracht worden gegeven, maar na de kernopdracht. Eerst wordt de kernopdracht gegeven en daarna wordt doorgevraagd om er voor te zorgen dat de leerlingen de door de ontwikkelaar bedoelde exploraties van de taak uitvoeren om te voorkomen dat zij met een half antwoord tevreden zijn. In het algemeen kan gesteld worden dat de verschillen tussen de meer en de minder gestructureerde condities niet groot zijn en dat de oppervlakkige aanpak niet via de manier van structureren van de vragen alleen kan worden opgelost.

3. Hoe verloopt het probleemoplossen in de meer versus de minder gestructureerde leeromgeving?

In hoofdstuk 8 is weergegeven dat de structuur van het probleemoplossen tussen de beide groepen weinig verschilde. Een conclusie op basis van de POATS-analyse is, dat de minder gestructureerde conditie niet leidt tot meer probleemformuleringen, maar wel tot langere periodes waarin het probleem bediscussieerd, geformuleerd en afgehandeld wordt. Dit zou kunnen betekenen dat in de minder structuurconditie er meer reflectie op het eigen oplosproces is. We zien verder dat er in de minder structuur conditie vaker afgeweken wordt van het P>O>A-patroon: probleemdefinitie, oplosproces, afhandelen. Er vinden dus meer herzieningen en revisies plaats. Dit kan positief geïnterpreteerd worden als meer eigen reflectie op het proces, maar ook als minder efficient in de aanpak van het oplosproces. De gegevens uit hoofdstuk 6 (toetsen en beoordeelde leerlingwerk) en uit hoofdstuk 7 (vakinhoudelijke beoordeling van de leeractiviteiten) geven de richting aan dat het probleemoplossen in de minder gestructureerde conditie soms minder glad verloopt, terwijl in de natoets de leerlingen in de minder

gestructureerde conditie (zie Tabel 6.3) iets hoger scoren dan de leerlingen in de meer gestructureerde conditie. Met andere woorden een minder gladde taakuitvoering kan toch leiden tot een hogere score op de natoets (leereffect).

4. In hoeverre heeft de mate van structuur invloed op de samenwerking tussen tweetallen van leerlingen?

In de analyse van hoofdstuk 8 komt geen verschil in samenwerking tussen de leerlingen voor tussen de twee condities. De samenwerking tussen de leerlingen is in het algemeen ook redelijk symmetrisch, dit wil zeggen dat beide leerlingen in een tweetal een even grote inbreng in het werk hadden. Wel blijkt uit de analyse in hoofdstuk 7 dat de leerlingen nauwelijks samenwerken als zij niet weten hoe zij de taak moeten aanpakken. Dit deed zich voor bij onderdelen van de MiM5-taak. Individueel gaat men dan voor zichzelf aan de gang of 'ontvlucht' de opdracht.

5. Wat is de rol van de 'docent' in deze ICT-leeromgeving?

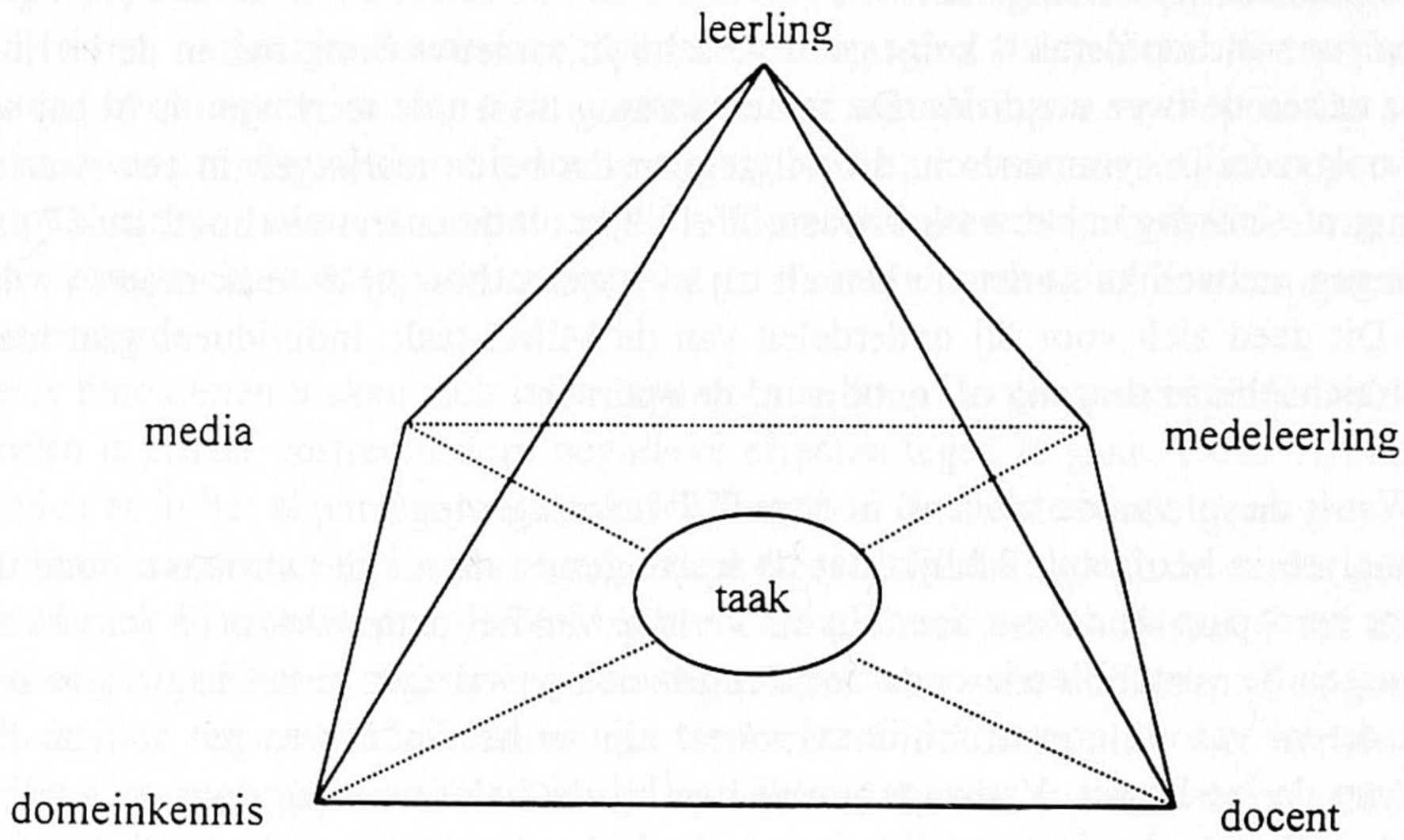
Uit de analyse in hoofdstuk 8 blijkt dat de leerlingen in de minder structuur conditie een groter beroep op de docent doen. In het verloop van het onderzoek is de rol van de docent tussen de verschillende onderzoekronden ook gewijzigd. In het begin was het idee dat de rol van de docent minimaal moest zijn in het kader van het zelfstandig werken van de leerlingen. Vanwege problemen bij de taakuitvoering door de leerlingen is de rol van de docent echter veranderd. In de derde ronde heeft de docent/onderzoeker een actievere rol genomen, met name in de oriënterende sfeer: het computerprogramma werd klassikaal gedemonstreerd en de docent introduceerde zelf de afzonderlijke taken, in plaats van leerlingen een tekst te laten lezen. Voor een deel had een alternatief voor de inzet van de docent geweest kunnen zijn het in het programma Measurement in Motion inbouwen van context specifieke hulp bij bepaalde problemen van de leerlingen. Dit was binnen het programma en de beschikbare onderzoektijd echter moeilijk te realiseren.

Samenvattend kan gezegd worden dat de leerlingen het onderwerp afstand-tijdgrafieken met het door ons ontwikkelde onderwijspakket redelijk hebben leren beheersen. Er werd in het leerresultaat geen verschil gevonden voor de mate van structuur van de taken. Voor- en nadelen van meer of minder structuur zijn verschillend, maar heffen zich ten opzichte van het leerresultaat mogelijk op. Hierbij moet benadrukt worden dat meer en minder structuur in ons onderzoek een gering verschil impliceerde. Bovendien is onze conclusie dat de optimale mate van structurering niet via het structureren van de vragen alleen kan worden bereikt.

## 9.3 Structuur

Hoewel structuur in het vergelijkende onderzoek is geoperationaliseerd in de vorm van subvragen, zijn we ons in dit project bewust geworden van de veelzijdigheid van structuurverlenende aspecten in de onderwijsleersituatie. We menen dat bewuste aan-

dacht voor al deze aspecten kan bijdragen aan het realiseren van zelfstandig leren aan de hand van computertaken. We zullen de componenten van de didactische vijfhoek, die wij in hoofdstuk 2 hebben beschreven, op hun gevonden relevantie voor structuur nalopen.




Figuur 9.1 Didactische vijfhoek

### *9.3.1 Context van de taak*

Er is een opvallend verschil in de wijze waarop de leerlingen reageren op de taken rond de auto's (MiM5) en die rond hardlopen (MiM4). Waar de leerlingen hun beschrijvingen van de grafieken niet of nauwelijks lijken te koppelen aan de concrete situatie van optrekkende en afremmende auto's, beginnen de leerlingen spontaan over winnen, inhalen en terugvallen bij Hardlopen - nog vóór er een vraag is gelezen! Dit levert een belangrijke aanwijzing voor het ontwerpen van computertaken: probeer een situatie te schetsen waarin de vragen die aan de orde komen "vanzelfsprekend" zijn. Kenmerkend verschil tussen de twee taken is dat er bij de auto's geen reden is, waarom iemand zou willen weten hoe het met de snelheden van die twee auto's zit, terwijl de vraag, "Wie wint?", in de context van een hardloopwedstrijd vanzelfsprekend is. Dit hoeft ons inziens niet te betekenen, dat de ontwerper zich beperkt tot situaties die de leerlingen zo vertrouwd zijn, dat ze zelf spontaan vragen stellen. Wel betekent het dat een taak meer structuur biedt, naar mate de ontwerper er beter in slaagt een context tot leven te brengen waarin de te onderzoeken vragen op een - voor de leerlingen - vanzelfsprekende manier naar voren komen.

Een ander moment waar taakkenmerken duidelijk naar voren kwamen was bij het vormgeven van het idee dat de opdracht tot het maken van een concreet eindproduct de activiteit van de leerlingen zou kunnen sturen. Hier bleek bijvoorbeeld dat het karakter

van de eindopdracht zeer nauw luistert. De connotaties die muurkranten en posters met zich meebrengen sturen de leerlingen bijvoorbeeld al snel in de richting van de vormgeving, met het gevaar dat de inhoud op de achtergrond raakt. Bovendien stuurt zo'n opdracht ook de tijdsbesteding van de leerlingen en de tijd die aan het inkleuren van de poster wordt besteed gaat ten koste van de eigenlijke leertijd. In dit project hebben we er uiteindelijk voor gekozen, het concrete eindproduct te betitelen als het beantwoorden van een onderzoeksvraag. Uiteraard geldt daarbij dat de betiteling als zodanig niet voldoende is om de leerlingen precies te vertellen wat er van hen wordt verwacht, maar op dit aspect komen we in de volgende paragraaf terug.

### *9.3.2 Kenmerken van media*

Het gebruik van de computer biedt nieuwe mogelijkheden voor het bieden van structuur. In wezen is Measurement in Motion daar zelf een voorbeeld van. Meer specifiek werd van de mogelijkheden van de computer gebruik gemaakt bij de aanpassing van de taak rond het reuzenrad. Deze taak werd duidelijk minder complex nadat deze was voorzien van een grafiek die met het filmpje meeloopt. Hierdoor ontstond een visuele relatie tussen veranderingen in beide representaties (video en grafiek). Verondersteld mag worden dat deze manier van structuur bieden met behulp van computeranimaties nog veel verder kan worden uitgebuit.

Opvallend is dat de naturalistische presentatie (video van auto met starten en stoppen) niet beter werkte dan een animatie waarin bewegende kruisjes op het scherm hardlopende leerlingen voorstelden.

Het bieden van structuur in de vorm van extra hulp in het computerprogramma Measurement in Motion is beperkt gebleken. Het was technisch moeilijk realiseerbaar om context specifieke hulp in te bouwen. In geval van problemen werd er daardoor een groter beroep op de docent of medeleerling gedaan. Dit gaf enige afbreuk aan onze intentie tot zelfstandig werken, maar is vanuit het oogpunt van een reële onderwijssituatie niet problematisch. Met andere woorden de didactische functies die het leerproces initiëren, onderhouden en evalueren zijn in een niet vastliggende verhoudingen over de verschillende 'actoren' (zie Figuur 9.1) in de onderwijsleersituatie verdeeld. Zodra er een compensatie bij de ene actor (docent) mogelijk is als een andere (computer) het af laat weten, hoeft dit geen afbreuk te doen aan de kwaliteit van de leeromgeving.

Een andere ervaring met taakkenmerken die we hier willen memoreren is de ervaring dat structuur in de vormgeving ook negatief kan uitwerken. Zo werd bij de opgaven rond de "auto-grafieken", ruitjespapier aangeboden. Gedacht werd dat dit het tekenen van de grafieken zou vergemakkelijken. In de praktijk verstoorde het ruitjespapier echter de opdracht tot het maken van globale grafieken. We veronderstellen dat de aanwezigheid van de ruitjes in de hand werkte dat de leerlingen gingen proberen een precieze grafiek te tekenen.

### *9.3.3 Samenwerken tussen leerlingen*

Bij het samenwerken geldt, evenals overigens voor de hele leeromgeving, dat de relatie tussen de moeilijkheid en uitdagendheid van de taak in evenwicht moet zijn met de

kennis en vaardigheden van de leerlingen en de hulp of structuur die de leeromgeving biedt. Bij een te gemakkelijke taak slaat verveling toe en bij een te moeilijk taak frustratie. Als een probleem "te" moeilijk is blijken de leerlingen nauwelijks tot samenwerking te komen. In de meeste situaties blijken zij in ons onderzoek echter goed te kunnen samenwerken. De vormgeving van de leersituatie luistert hier echter ook nauw. De leerlingen blijken meer informatie uit te wisselen over de taak als zij beiden een schriftelijke instructie krijgen dan wanneer slechts één leerling het schriftelijke materiaal heeft. Ook de vorm van het op te leveren eindproduct heeft invloed op de samenwerking: moet ieder apart een product inleveren of is er een gezamenlijk product?

Er moet dus een basis zijn voor samenwerking en het moet belonend zijn.

### *9.3.4 Rol van de docent en sociale normen*

In eerste instantie is er bij het opzetten van de leergang gestreefd naar een minimale rol voor de docent/proefleider. Het ging immers om het zelfstandig leren met computertaken. In de verschillende proefrondes hebben we dit uitgangspunt echter geleidelijk aan bijgesteld. Zo bleek het weinig efficiënt, de introductie van het werken met de computer door middel van een schriftelijke instructie te laten verlopen. Een klassikale uitleg door de proefleider bleek beduidend beter te verlopen. Iets dergelijks geldt ook voor de kennismaking met de context van een opgave. De leerlingen bleken schriftelijk aangeboden beschrijvingen vaak maar half te lezen. Met als gevolg dat contexten waar de leerlingen niet echt vertrouwd mee waren, ook niet tot leven kwamen; wat de hiervoor aangeduide vanzelfsprekendheid van de vragen uiteraard niet ten goede komt. Een klassikale bespreking van de context onder leiding van de docent bleek efficiënter te werken. Een alternatief zou mogelijk kunnen zijn dat het computerprogramma een filmpje bevat waarmee de context tot leven wordt gebracht. Binnen de randvoorwaarden van onderhavige project is dit echter niet onderzocht.

Behalve in deze voorbereidende activiteiten, speelt de docent ook een belangrijke rol bij het vormgeven van de normen omtrent wat er van de leerlingen wordt verwacht. Dit kwam duidelijk naar voren in de eerste onderzoeksronde, waarin de leerlingen de taken vrijblijvend opvatten. Door de proefleider feedback op het werk van de leerlingen te laten geven, werd de leerlingen bewust gemaakt dat ze deze taken serieus moesten nemen. Daarnaast kan de docent/proefleider deze feedback benutten om de leerlingen duidelijk te maken welke eisen er aan hun antwoorden worden gesteld. We hebben hier te maken met wat Cobb en Whitenack (1996) socio-math norms noemen. Kenmerkend aan dit concept van socio-math norms is de gedachte dat je dergelijke normen alleen aan de hand van concrete voorbeelden duidelijk kunt maken. Zolang verbale beschrijvingen van deze normen niet kunnen worden gekoppeld aan concrete ervaringen van de leerlingen, blijven ze abstract. Wat bijvoorbeeld de juiste verhouding tussen aandacht voor de vorm en de inhoud is bij de beantwoording van een onderzoeksvraag kan alleen aan de hand van concrete voorbeelden worden duidelijk gemaakt. Een probleem hierbij is dat hiervoor een iteratief proces nodig is waarbij de leerlingen hun gedrag aanpassen aan de feedback van de docent. Dit was met name

een probleem in de onderzoekssetting, waar te weinig feedback cycli mogelijk waren om dergelijke normen te ontwikkelen. Dit geldt ook ten aanzien van het ontwikkelen van normen ten aanzien van het beantwoorden van meer of minder gestructureerde vragen. Van leerlingen die eraan zijn gewend dat opgaven worden gestructureerd door series van subvraagjes, zullen geneigd zijn omvattender onderzoeksvragen als subvraagjes op te vatten. Deze onjuiste verwachting kan er toe leiden dat de leerlingen al heel snel denken met de vraag klaar te zijn, of de vraag juist snel als te moeilijk ter zijde schuiven. Ook hier geldt dat een wat langere iteratie van opgaven maken en feedback krijgen tot een verandering van verwachtingen/normen kan leiden.

## 9.4 Slot

De belangrijkste conclusies zetten we hieronder op een rij:

- We hebben evidentie gevonden voor ons vermoeden dat (te)veel structuur in de vorm van weg-bereidende deelvraagjes ertoe leidt dat deze deelvraagjes als opzichzelfstaande opdrachtjes worden opgevat, zonder dat de samenhang wordt gezien.
- Eveneens is gebleken dat (te) weinig structuur inderdaad in de hand werkt dat de leerlingen de opdracht te oppervlakkig opvatten, waardoor de didactische bedoeling niet wordt gerealiseerd.
- We hebben positieve ervaringen opgedaan met een alternatieve opdrachtvorm die aan beide problemen tegemoet komt: de vangnetvragen.
- Verder blijkt uit onze analyse dat de geïsoleerde danwel oppervlakkige interpretatie van de vragen kan worden gekenschetst als het zich niet "toe-eigenen" van het probleem; de leerlingen spreken in termen van "Ze willen dat we ..." en ze volstaan nogal eens met antwoorden waarvan ze beseffen dat ze onjuist zijn.
- Op basis van ons onderzoek komen wij tot de conclusie dat deze houding samenhangt met (a) (het ontbreken van) intrinsieke motivatie enerzijds, en (b) de ideeën die de leerlingen hebben over wat er van hen wordt verwacht. Een eyeopener voor wat dit eerste (ad a) betreft is de MiM-taak rond hardlopen, vooral in contrast met "Starten/Stoppen". Voor wat het tweede (ad b) betreft, werd ons snel duidelijk dat de oorspronkelijke opzet die opzichzelfstaande computertaken in een zuivere vorm wilde bestuderen voorbij ging aan de belangrijke rol die de docent speelt bij het zelfstandig leren. Hoewel we enig succes hadden met het beïnvloeden van hoe de leerlingen de taak opvatten, door een eindopdracht te formuleren, werd ons ook duidelijk dat de houding waarmee, en de manier waarop, de leerlingen de computertaken aanpakken geoptimaliseerd wordt in een iteratief proces waarin de docent regelmatig feedback geeft op het handelen van de leerlingen. Dit laatste is een conclusie die van essentieel belang is voor een succesvolle implementatie van de studiehuisgedachte.

# Literatuur

Bakeman, R., & Quera, V. (1995). *Analyzing Interaction; Sequential Analysis with SDIS and GSEQ*. Cambridge: Cambridge University Press.

Boyd, A., & Rubin, A. (1996). Interactive video: a bridge between motion and math. *International Journal of Computers for Mathematical Learning, 1*, 57-93.

Brown, J.S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher, 18*(1), 32- 42.

Cappo, M., & Darling, K. (1992). Measurement in motion. *Communication of the ACM, 39*(8), 91-93.

Cobb, P., & Whitenack, J.W. (1996). A method for conducting longitudinal analyses of classroom videorecordings and transcripts. *Educational Studies in Mathematics, 30*, 213-228.

Cobb, P., Gravemeijer, K.P.E., Yackel, E., McClain, K., & Whitenack, J. (1997). Mathematizing and Symbolizing: The Emergence of Chains of Signification in One First-Grade Classroom. In D. Kirschner & J.A. Whitson (Eds.), *Situated cognition theory: Social, semiotic, and neurological perspectives* (pp.151-233). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1996). Multimedia Environments for Enhancing Learning in Mathematics. In S. Vosniadou, E. de Corte, R. Glaser & H. Mandl. (Eds.), *International Perspectives on the Design of Technology-Supported Learning Environments* (pp. 285-305). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

DeCorte, E. (1998). Vijfentwintig jaar onderzoek naar "Leren en instructie": een persoonlijk perspectief. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch, 23*(2), 143-157.

Doerr, H. M. (1995). *An integrated approach to mathematical modelling: a classroom study.* Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, April 1995.

Glaser, B.G.G., & Strauss, A.L. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. New York: Aldine.

Gravemeijer, K.P.E. (1994a). *Developing Realistic Mathematics Education*. Utrecht: Cd-beta Press.

Gravemeijer, K.P.E. (1994b). Educational Development and Developmental Research in Mathematics Education. *Journal for Research in Mathematics Education, 25*(5), 443-471.

Gravemeijer, K.P.E. (in press). Developmental research as a research method. In J. Kilpatrick & A. Sierpinska (eds.), *What is research in mathematics education and what are its results?* ICMI Study publication. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Gravemeijer, K.P.E., Cobb, P., Bowers, J., & Whitenack, J. (in press). Symbolizing, Modeling, and Instructional Design. In P. Cobb, E. Yackel & K. McClain (Eds.), *Communicating and symbolizing in mathematics: Perspectives on*

*discourse, tools, and instructional design.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Heuvel-Panhuizen, M. van den (1996). *Assessment and Realistic Mathematics Education.* Utrecht: Cd-beta Press.

Kintsch, W., & van Dijk, T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review, 85*(5), 363-394.

Lehrer, R., Schauble, L., Carpenter, S., & Penner, D. (in press). The inter-related development of inscriptions and conceptual understanding. In P. Cobb, E. Yackel, & K. McClain (Eds.), *Symbolizing and communicating in mathematics classrooms: Prospectives on discourse, tools, and instructional design.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Mayer, R.E., (1992). *Thinking, Problem solving , Cognition.* Second Edition New York: W.H. Freeman and Company.

Meira, L. (1995). The Microevolution of Mathematical Representations in Children's Activity. *Cognition and Instruction, 13* (2), 269-313.

Polya, G. (1957). *How to solve it.* New York: Doubleday

Salomon, G. (1998). Novel constructivist learning environments and novel technologies: some issues to be concerned with. *Research Dialogue in Learning and Instruction, 1*(1), 3 –12.

Schoenfeld, A.H. (1989). Teaching mathematical thinking and problem solving. In L.B. Resnick & L.E. Klopfer (Eds.), *Towards the thinking curriculum: Current cognitive research* (pp. 83-103). Alexandria, VA: American Counseling Association

Simon, M.A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perpective. *Journal for Research in Mathematics Education, 26*, 114-145.

Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1992). Cognitive Flexibility, Constructivism, and Hypertext: Random Access Instruction for Advanced Knowledge Acquisition in Ill-structured Domains. In T. M. Duffy & D. H. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the Technology of Instruction: a Conversation* (pp. 57-75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Streefland, L. (Ed.). (1991). *Realistic Mathematics Education in Primary School* (pp. 183-209). Utrecht: Cd-beta/Freudenthal Instituut.

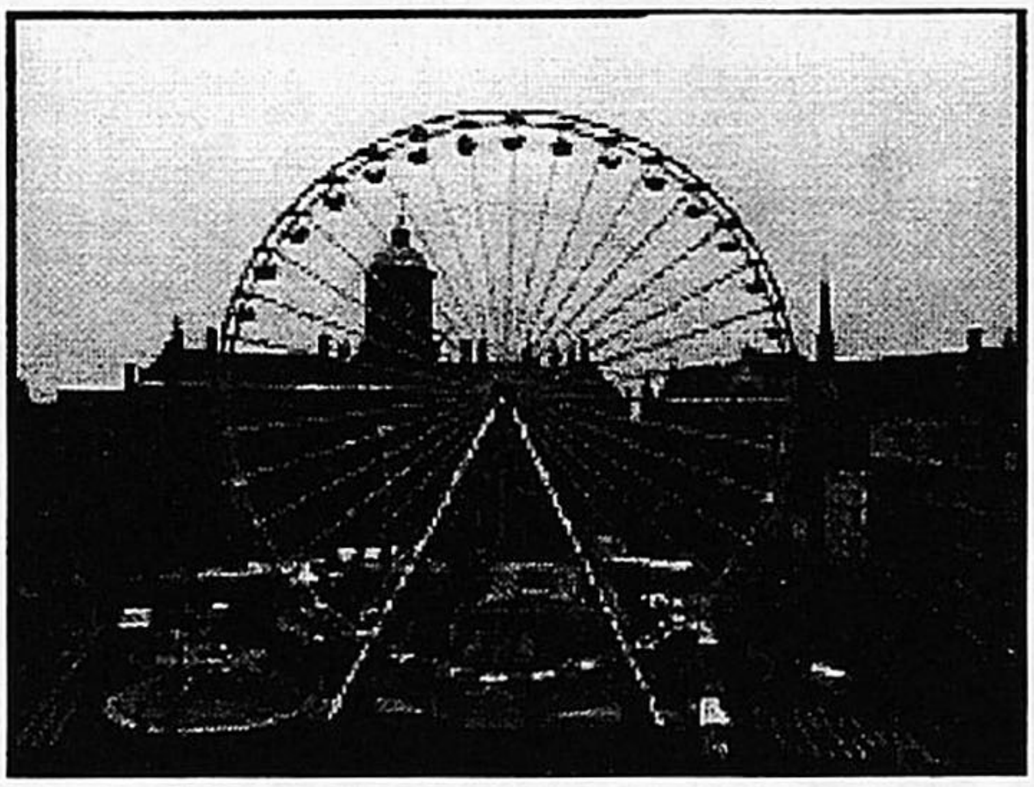
Treffers, A. (1987). *Three dimensions. A model of goal and theory description in mathematics education: the Wiskobas project.* Dordrecht: Reidel.

Ven, M. van der (1998). *Instructies bij computersimulaties in het technisch onderwijs.* Delft: Delft University Press.

Wampold, B.E. (1992). The Intensive Examination of Social Interaction. In T.R. Kratochwill & J.R. Levin (Eds.), *Single-Case Research Design and Analysis; New directions for psychology and Education* (pp.93-133). Hillsdale, NJ.: Lawrence Erlbaum Associates.

## MiM 2. Het reuzenrad

Open 'MiM2. Reuzenrad Dam'.
Op het scherm zie je een filmpje van het reuzenrad.
In een van de bakjes van dat reuzenrad zit José.
Je ziet ook een grafiek.



**'play':** Als je op deze knop klikt: draait het reuzenrad. Je kunt het filmpje stoppen door nog een keer op de knop te klikken. De knop ziet er dan zo uit:

**hoogte:** Als je op deze knoppen klikt : en ze **ingedrukt** houdt, zie je meer:
Filmpje: Het rode kruisje geeft aan in welk bakje José zit. Het groene lijntje geeft de hoogte aan.
Grafiek: Het groene lijntje in de grafiek geeft ook de hoogte aan.

**schuif:** Je kunt ook de schuif gebruiken:
Probeer wat er gebeurt als je het schuifje verplaatst met de muis (klikken en ingedrukt houden).
Kijk ook wat er gebeurt als je op een andere plaats in de balk klikt.

Dit is een foto van het paleis op de Dam:

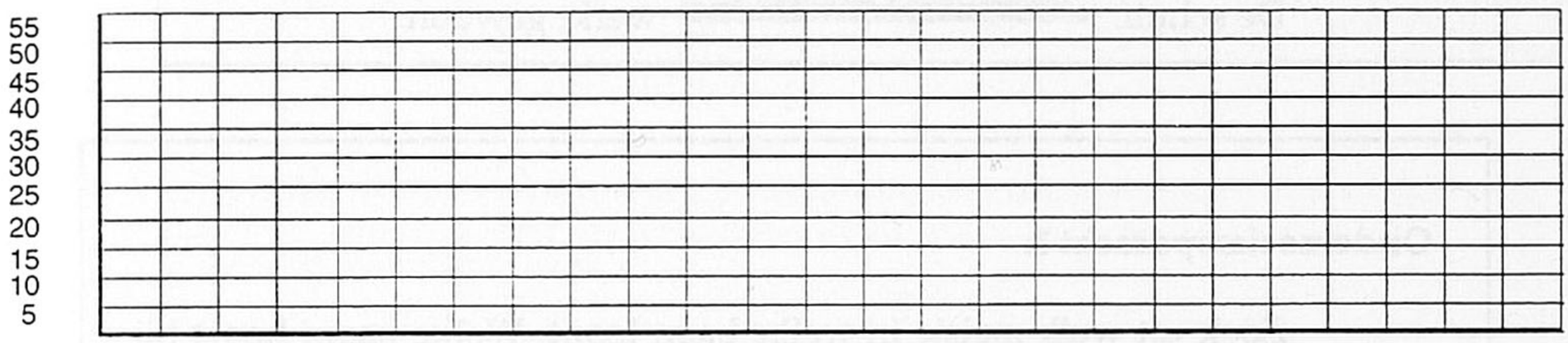
**Onderzoeksopdracht 1**

Het paleis op de Dam is 30 meter hoog. De toren rekenen we niet mee.
Hoeveel seconden per rondje kan José boven het dak van het paleis uitkijken?
Leg heel duidelijk uit hoe jullie het antwoord gevonden hebben.

**Onderzoeksopdracht 2**

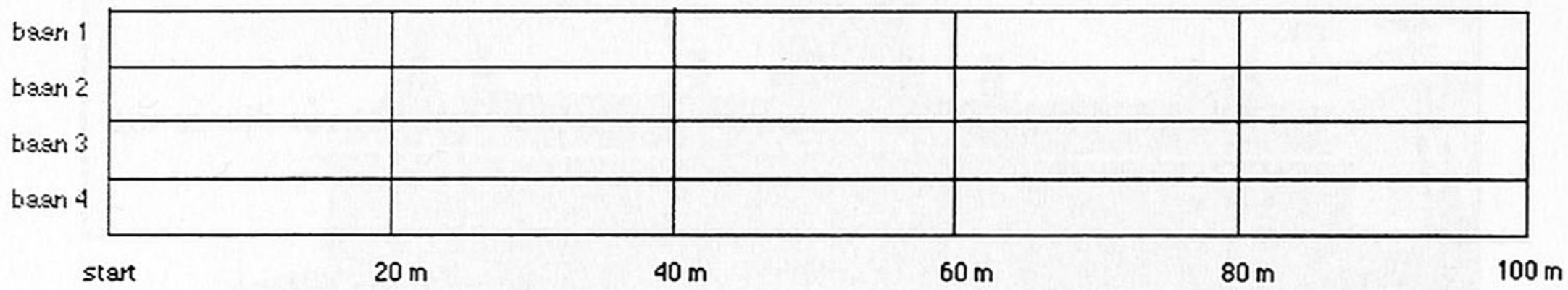
Nadat het reuzenrad een paar rondjes gedraaid heeft is er een uit- en instaprondje. Het reuzenrad stopt dan een paar keer zodat mensen kunnen uitstappen. Tegelijk stappen er nieuwe mensen in.

Teken op het papier hieronder hoe de grafiek van dat rondje er uit zou kunnen zien.



## MiM4a. 100 meter meisjes

Open 'MiM4a. 100 meter meisjes'.
Je ziet een filmpje van de hardloopwedstrijd tussen vier meisjes. Je ziet ook een grafiek van de wedstrijd.




**Let op:** Het filmpje is wat vreemd, want deze knop: werkt niet. Je kunt het filmpje bekijken met deze knoppen: .
De schuif: werkt gewoon.

**Onderzoeksopdracht 1:**

Zoek uit welk meisje in welke baan loopt. Welke naam hoort bij welk nummer?

**Onderzoeksopdracht 2:**

Stel je voor dat jij de coach bent van het schoolteam.
Vertel na de wedstrijd elk meisje wat je vindt van de manier waarop ze gelopen heeft.

## MiM4b. 100 meter jongens

Open 'MiM4b. 100 meter jongens'.
Je ziet de grafiek van de hardloopwedstrijd van vier jongens. Er is geen filmpje.

**Onderzoeksopdracht 3**

Stel je voor dat je verslaggever bent voor de radio. Je begint zo:

"En dan is nu het moment gekomen, luisteraars, van de finale van het hardlopen voor jongens. Wesley, Jop, Pieter en Samir staan klaar. Daar klinkt het startschot ....."

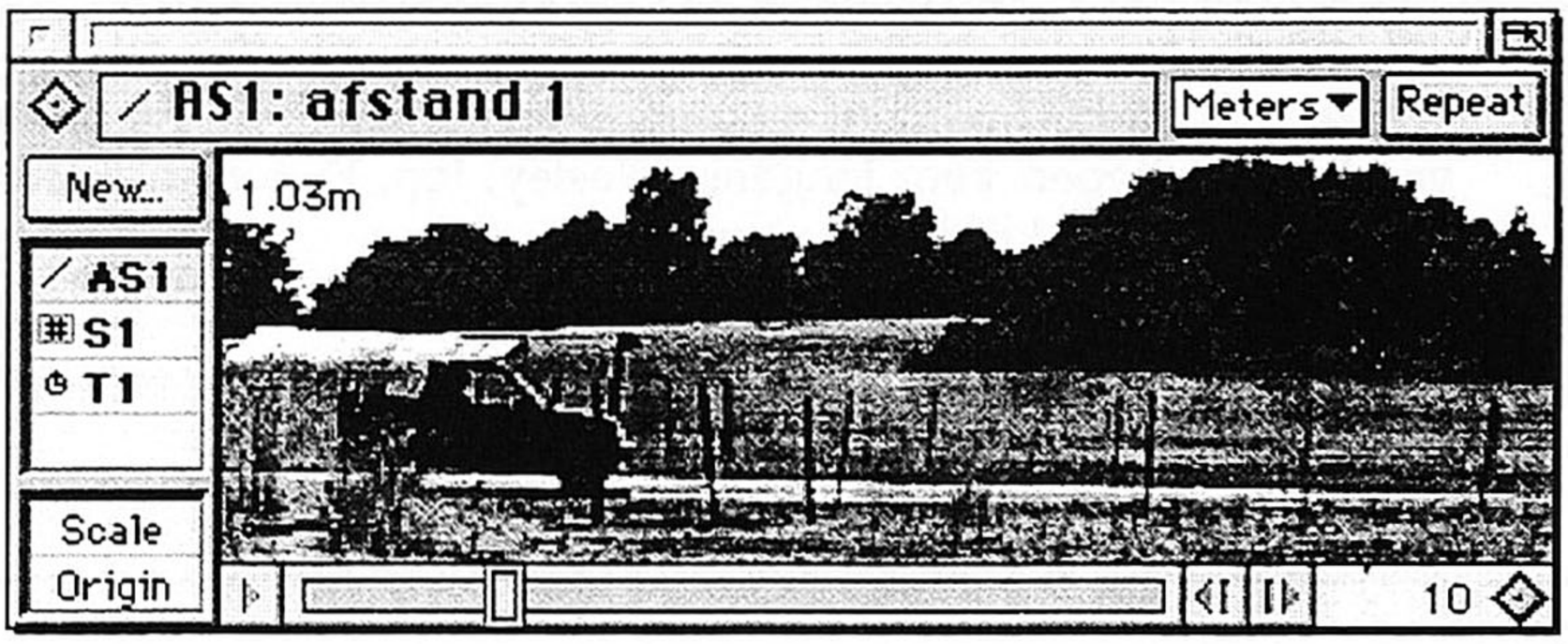
Maak het radioverslag af.
Het verslag moet passen bij de grafiek.

## MiM5. Auto

Open 'MiM5. Auto'.
Je ziet op het scherm twee filmpjes van een auto. Op het bovenste filmpje start de auto, op het onderste filmpje stopt de auto.

Je kunt de filmpjes bekijken met:  en met:  .

Je kunt ook de schuif gebruiken: 

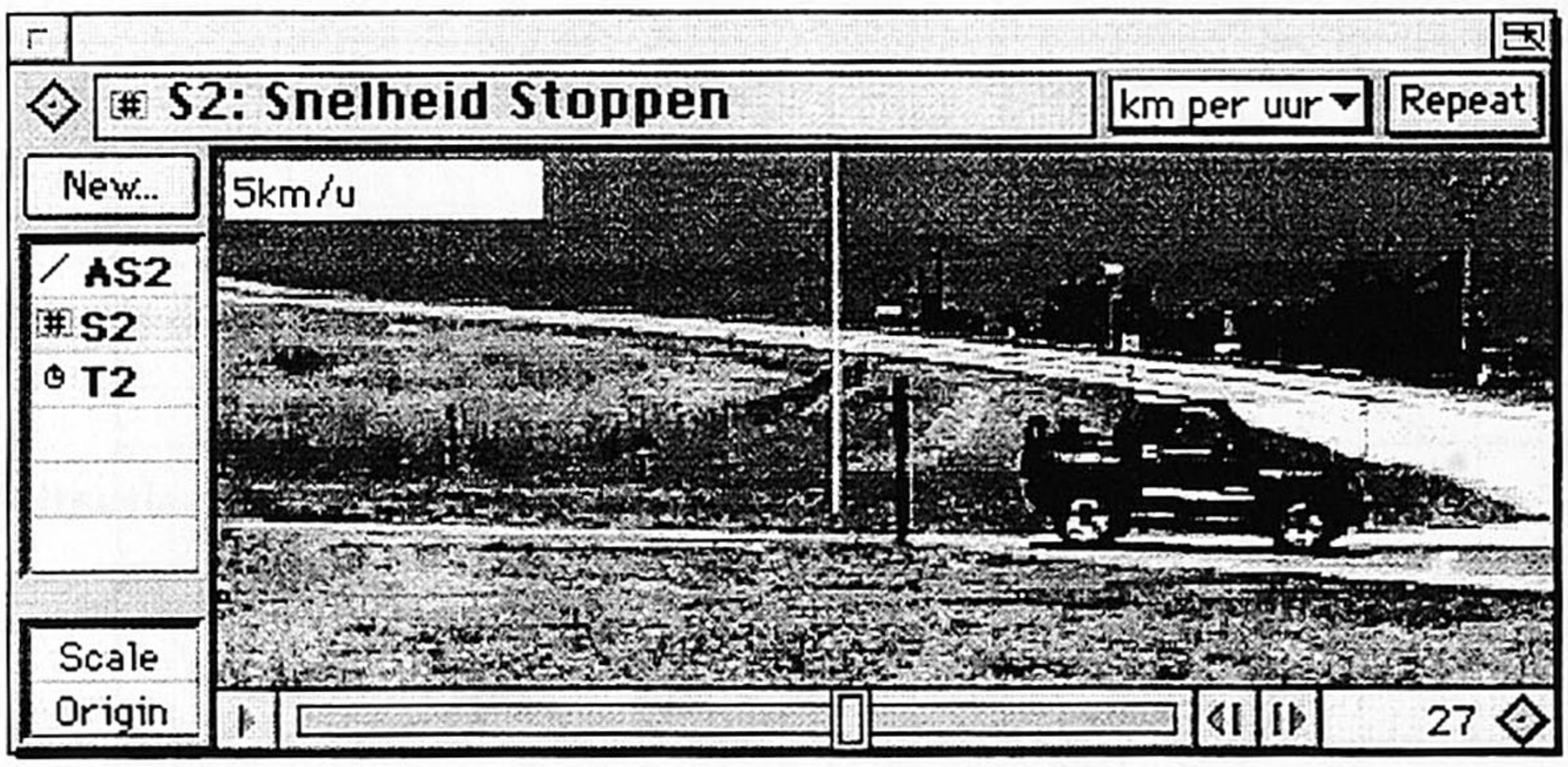



Dit is het filmpje van de startende auto. Omdat dit het eerste filmpje is staat er een 1 achter de namen van de dingen die gemeten zijn.

AS1: De afstand die de auto rijdt. Het groene lijntje geeft die afstand aan.
S1: De snelheid van de auto, in kilometers per uur.
T1: De tijd in seconden.

Als je op bijvoorbeeld '/AS1' klikt zie je het precieze getal dat daar bij hoort; op het plaatje van hierboven is de afstand 1.03 meter.

Bijlage I - 7: Opdrachten derde ronde; minder gestructureerde versie




Dit is het filmpje van de stoppende auto.

AS2: De afstand die de auto rijdt. Het groene lijntje geeft die afstand aan.
S2: De snelheid van de auto, in kilometers per uur.
T2: De tijd in seconden.

Als je op '#S2' klikt zie je het precieze getal dat daar bij hoort; op het plaatje van hierboven is de snelheid van de auto 5 kilometer per uur.

**Onderzoeksopdracht 1:**

Je kunt met het computerprogramma twee soorten lijngrafieken maken:
- voor elke film een grafiek van ***afstand*** ten opzichte van tijd.
- voor elke film een grafiek van ***snelheid*** ten opzichte van tijd.

Maak die grafieken en onderzoek ze.
Je zult zien dat de grafieken een verschillende vorm hebben.
Schrijf kort op voor elke grafiek hoe het komt dat de grafiek die vorm heeft.

Tip: Hoe je grafieken kunt maken staat op het losse gele vel.
Kies als grafieksoort voor ***'Line'*** .

**Onderzoeksopdracht 2:**

Stel je de volgende situatie voor:
Een auto gaat rijden, rijdt dan een tijdje met een vaste snelheid van 30 kilometer per uur en stopt daarna weer.

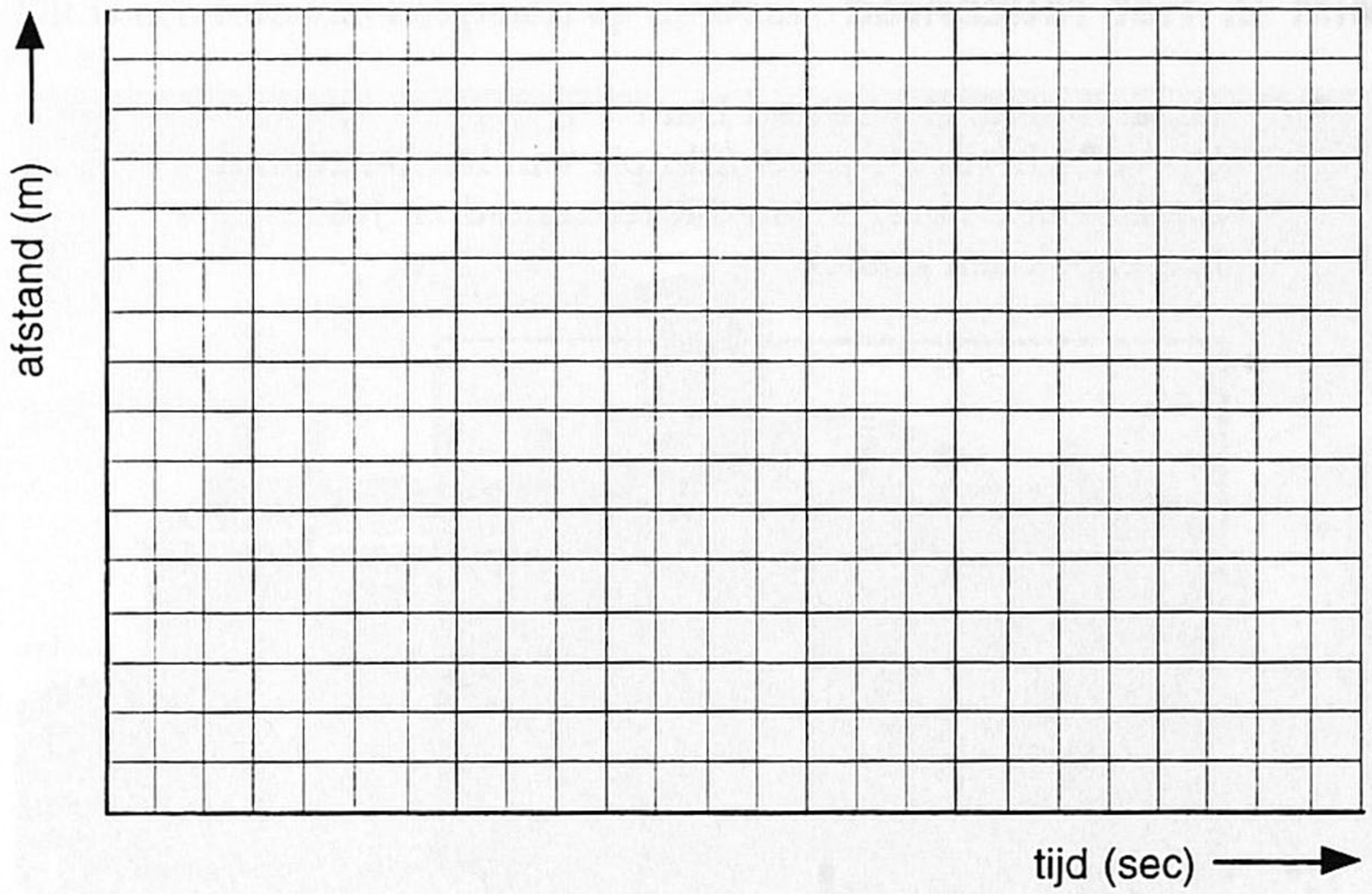
Maak op de volgende bladzijde*twee* grafieken bij die situatie:
- een lijngrafiek van ***afstand*** ten opzichte van tijd,
- een lijngrafiek van ***snelheid*** ten opzichte van tijd.

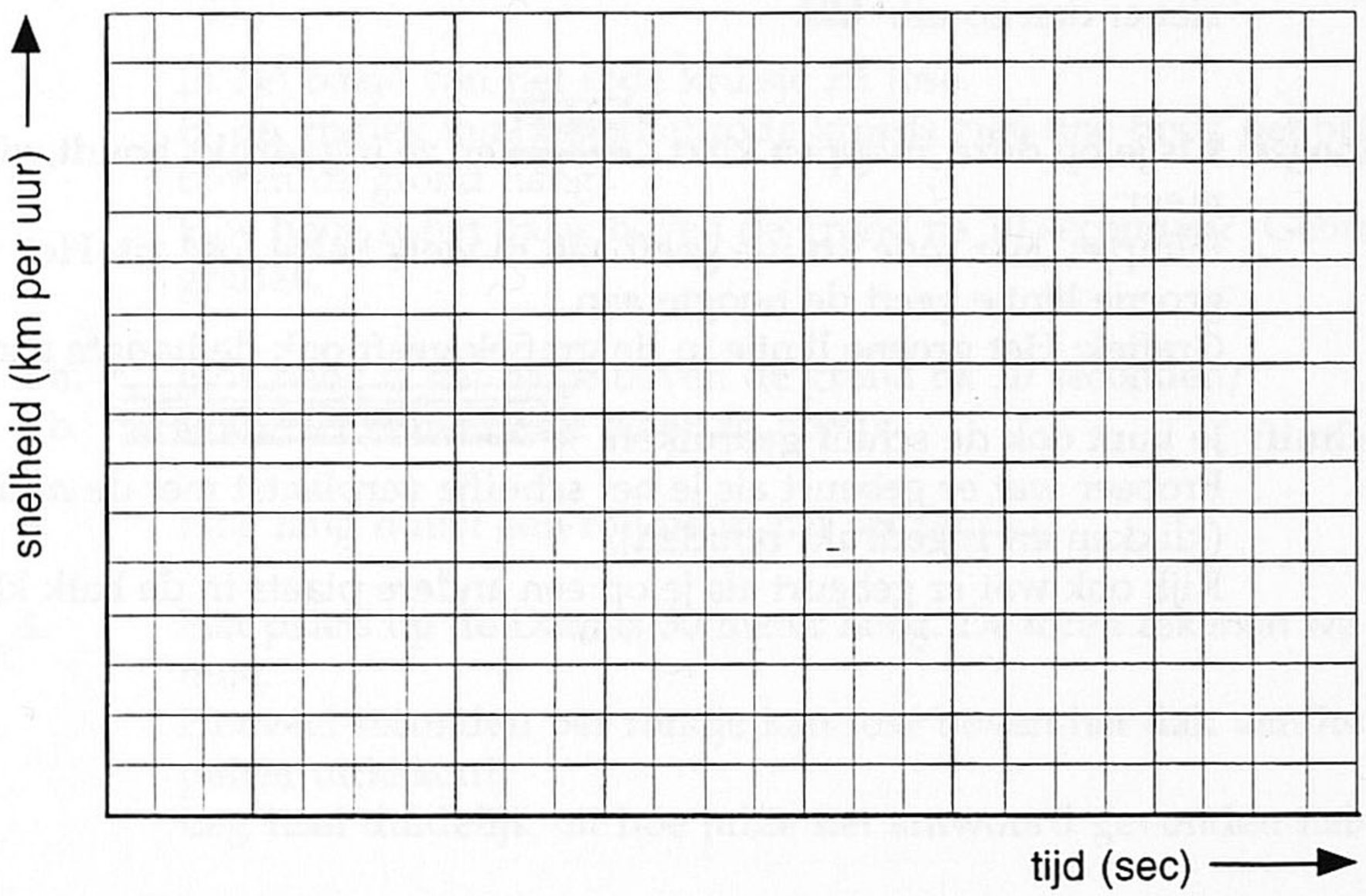
Kies zelf welke je het eerste maakt.

**Tip:** In de grafieken die jullie maken zijn de precieze getallen niet zo belangrijk. Het gaat vooral om de **vorm** van de grafieken.

Schrijf bij elke grafiek een uitleg. Vertel wat er in die grafiek te zien is en leg uit hoe.

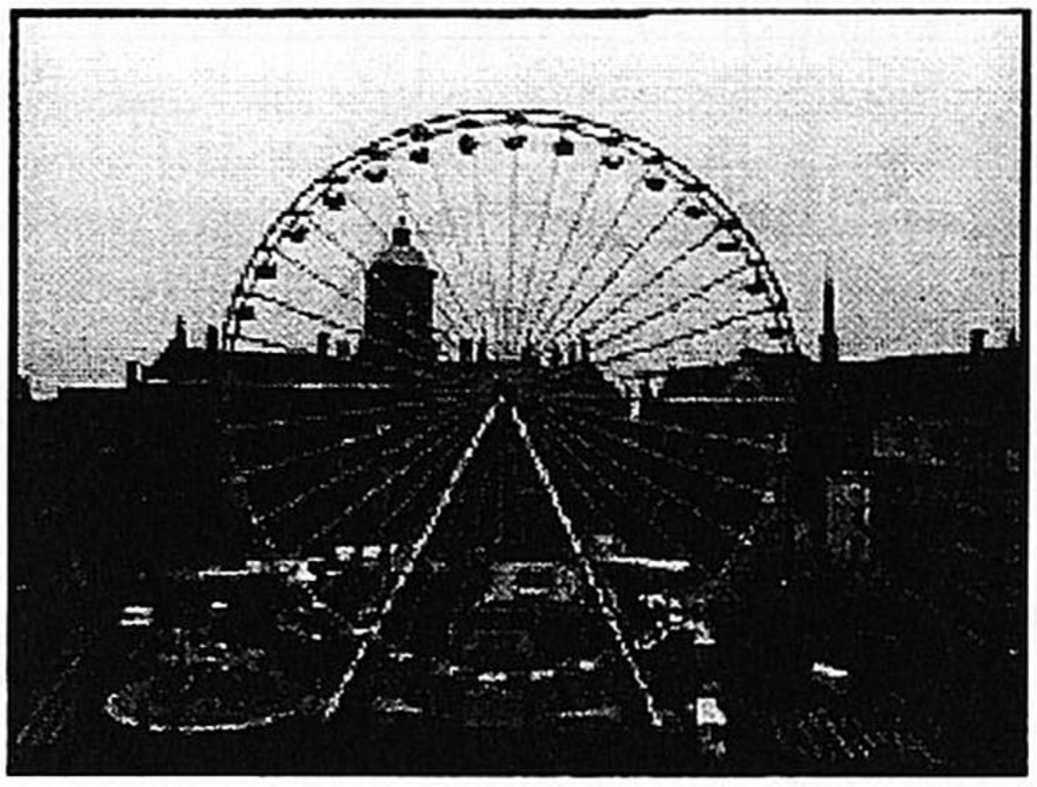
Bijlage I - 9: Opdrachten derde ronde; minder gestructureerde versie



## MiM 2. Het reuzenrad

Open 'MiM2. Reuzenrad Dam'.
Op het scherm zie je een filmpje van het reuzenrad.
In een van de bakjes van dat reuzenrad zit José.
Je ziet ook een grafiek.



**'play':** Als je op deze knop klikt: draait het reuzenrad. Je kunt het filmpje stoppen door nog een keer op de knop te klikken. De knop ziet er dan zo uit:

**hoogte:** Als je op deze knoppen klikt : en ze **ingedrukt** houdt, zie je meer:
Filmpje: Het rode kruisje geeft aan in welk bakje José zit. Het groene lijntje geeft de hoogte aan.
Grafiek: Het groene lijntje in de grafiek geeft ook de hoogte aan.

**schuif:** Je kunt ook de schuif gebruiken:
Probeer wat er gebeurt als je het schuifje verplaatst met de muis (klikken en ingedrukt houden).
Kijk ook wat er gebeurt als je op een andere plaats in de balk klikt.

Bijlage II - 2: Opdrachten derde ronde; meer gestructureerde versie

Dit is een foto van het paleis op de Dam:

**Opdrachten**

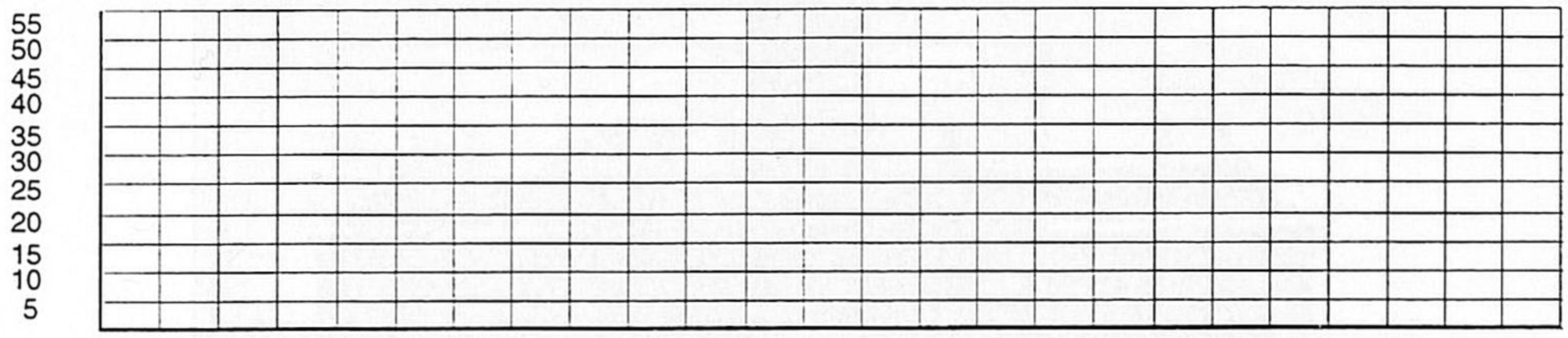
1. In het bakje van het rode kruisje zit Jose.
   In de grafiek kun je bij het rode kruisje zien hoe hoog het bakje boven de grond hangt.
   Hoe hoog is het bakje boven de grond na 10 seconden? Gebruik de grafiek.

2 a. Hoe hoog is het bakje boven de grond na 20 seconden?
   b. Wanneer is het bakje **weer** zo hoog?

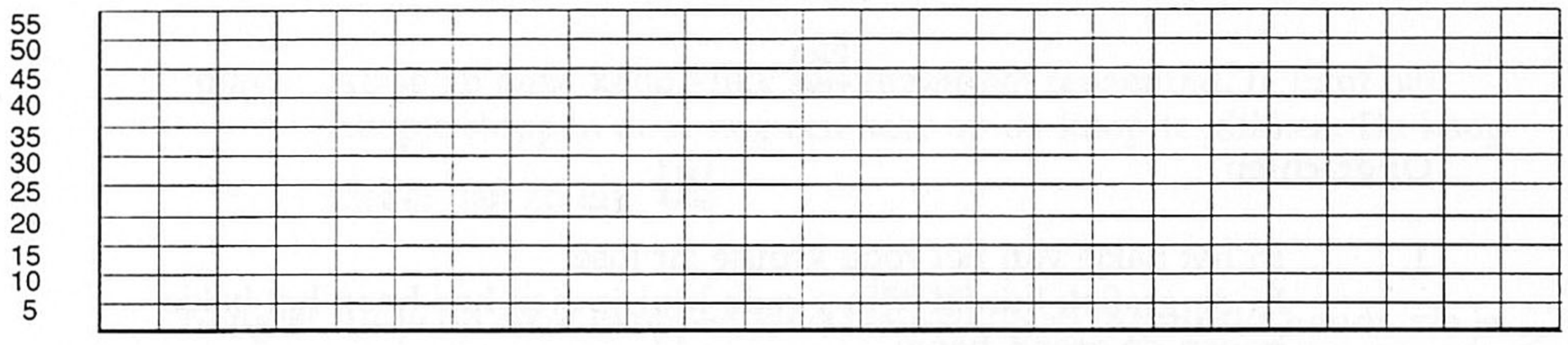
3. Hoe lang duurt een rondje in het reuzenrad?

4. Het paleis op de Dam is 30 meter hoog. De toren rekenen we niet mee.
   Hoeveel seconden per rondje kan José boven het dak van het paleis uitkijken?
   Leg heel duidelijk uit hoe jullie het antwoord gevonden hebben.

5. Op dit filmpje zie je het reuzenrad één keer ronddraaien. Stel je eens voor dat het reuzenrad zou stoppen als Jose net helemaal bovenin zit, en dan 30 seconden stil blijft staan. Hoe zou de grafiek er dan uitzien? Teken hieronder de grafiek bij die nieuwe situatie.

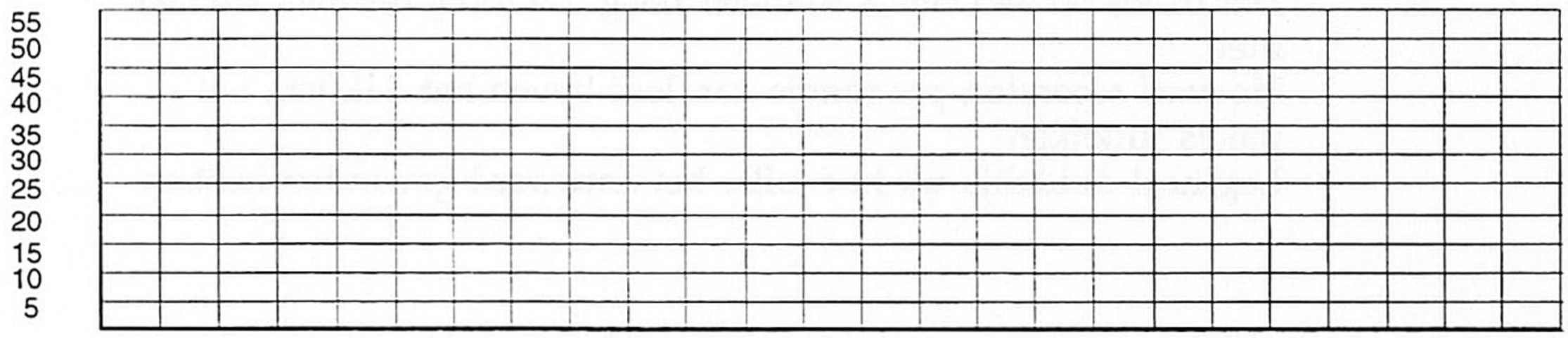



6. Hoe zou de grafiek er uitzien als Jose in het bakje stapt en het reuzenrad blijft dan nog 20 seconden stilstaan? Teken de grafiek hieronder.




7. Nadat het reuzenrad een paar rondjes gedraaid heeft is er een uit- en instaprondje. Het reuzenrad stopt dan een paar keer zodat er mensen kunnen uitstappen en instappen.

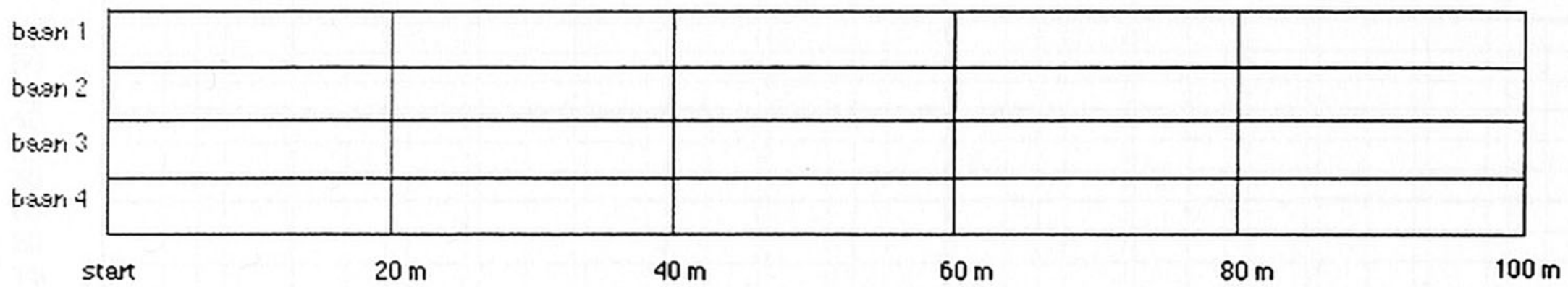
Teken hieronder hoe de grafiek van dat rondje er uit zou kunnen zien.



Bijlage II - 4: Opdrachten derde ronde; meer gestructureerde versie

## MiM4a. 100 meter meisjes

Open 'MiM4a. 100 meter meisjes'.
Je ziet een filmpje van de hardloopwedstrijd tussen vier meisjes. Je ziet ook een grafiek van de wedstrijd.




**Let op:** Het filmpje is wat vreemd, want deze knop: werkt niet. Je kunt het filmpje bekijken met deze knoppen: .
De schuif: werkt gewoon.

### Opdrachten

1 a. Bekijk het **filmpje**.
Welk meisje gaat het eerst over de 20 meter lijn? Schrijf het nummer van haar baan op.
b. Blijft dat meisje daarna steeds voorop lopen?

2. Er is een meisje dat eerst helemaal achteraan loopt en dan toch wint. Hoeveel meter heeft ze gelopen als ze voor het eerst iemand inhaalt?

3 a. Kijk nu naar de **grafiek**. De lijn van Fleur is zwart.
Hoeveel meter heeft Fleur gelopen na 3 seconden?
b. Welk meisje loopt er op dat moment voorop?

4 a. Fleur loopt Anouk voorbij, dat is het meisje van de groene lijn.
Hoeveel meter hebben Fleur en Anouk dan gelopen?
b. Hoeveel seconden hebben ze dan al gelopen?

5 a. Als hoeveelste komt Fleur bij de finish?
b. Welk meisje wint de wedstrijd?

6. Zoek uit welk meisje in welke baan loopt. Welke naam hoort bij welk nummer?

7. Je kunt op verschillende manieren lopen:
- direct zo hard mogelijk van start gaan,
- of proberen om de hele tijd even hard te lopen,
- of zorgen dat je nog reserve hebt voor de eindsprint.

Wat lijkt jullie het beste?

8. Anouk, het meisje van de groene lijn, loopt eerst heel snel en daarna langzamer. Hoe kun je zien in de grafiek dat Anouk langzamer gaat lopen?

9. Stel je voor dat jij de coach bent van het schoolteam.
Vertel na de wedstrijd elk meisje wat je vindt van de manier waarop ze gelopen heeft.

**MiM4b. 100 meter jongens**

Open 'MiM4b. 100 meter jongens'.
Je ziet de grafiek van de hardloopwedstrijd van vier jongens. Er is geen filmpje.

10 a. In het begin loopt één van de jongens veel harder dan de anderen. Wie is dat?
b. Hoe kun je dat zien in de grafiek?

11 a. Na een tijdje loopt Wesley Jop voorbij.
Zoek uit na hoeveel seconden dat is.
b. Zoek ook uit hoeveel meter ze op dat moment gelopen hebben.

12 a. Wie wint de wedstrijd?
b. Leg uit hoe je dat in de grafiek hebt gezien.

13. Stel je voor dat je verslaggever bent voor de radio. Je begint zo:

"En dan is nu het moment gekomen, luisteraars, van de finale van het hardlopen voor jongens. Wesley, Jop, Pieter en Samir staan klaar. Daar klinkt het startschot ....."

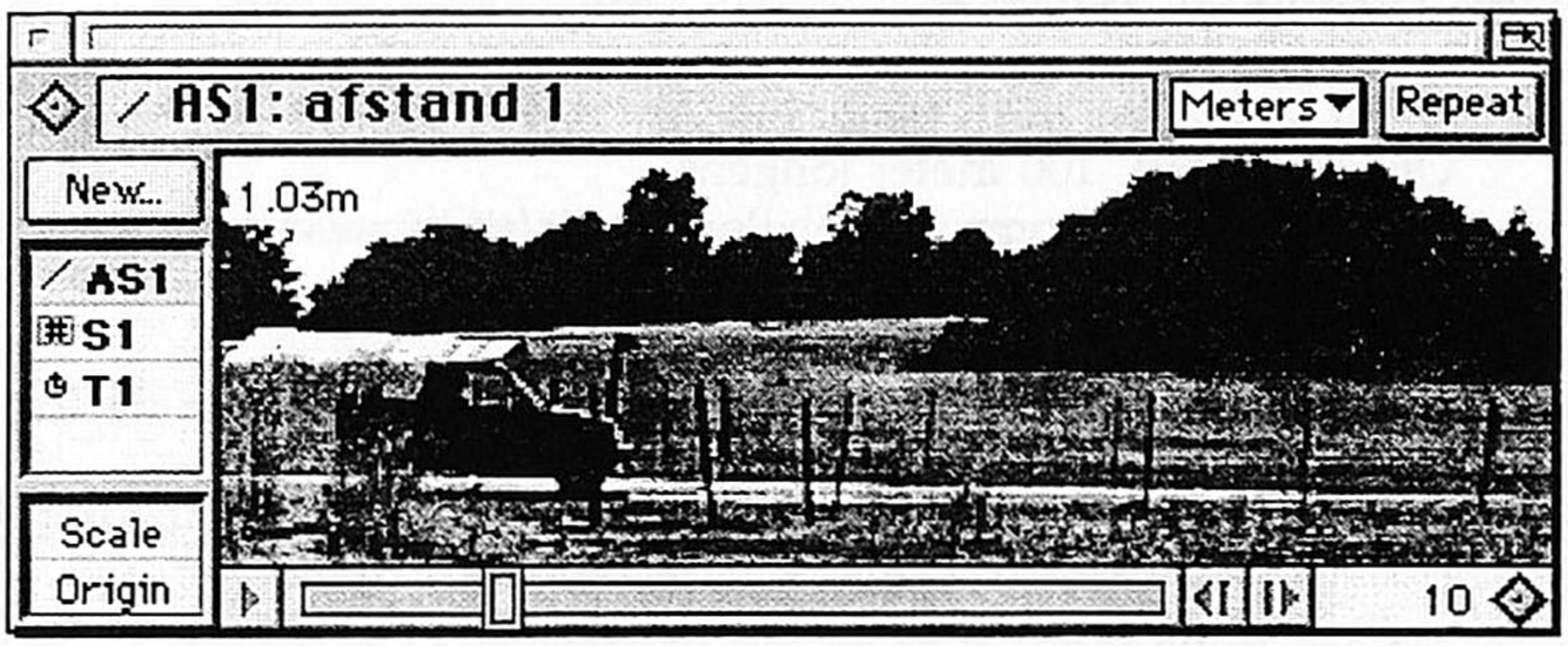
Maak het radioverslag af.
Het verslag moet passen bij de grafiek.

## MiM5. Auto

Open 'MiM5. Auto'.
Je ziet op het scherm twee filmpjes van een auto. Op het bovenste filmpje start de auto, op het onderste filmpje stopt de auto.

Je kunt de filmpjes bekijken met:  en met:  .

Je kunt ook de schuif gebruiken: 

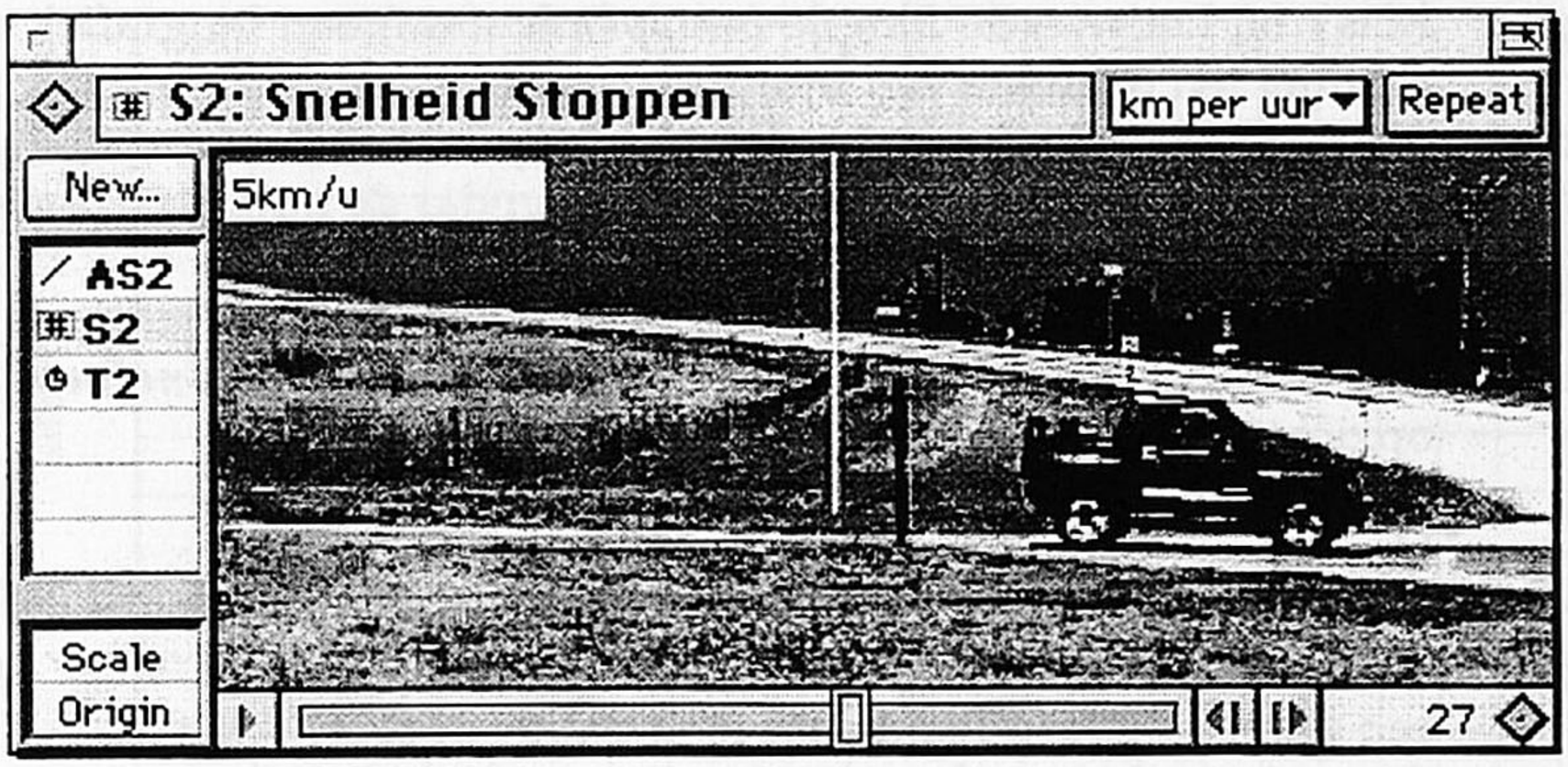



Dit is het filmpje van de startende auto. Omdat dit het eerste filmpje is staat er een 1 achter de namen van de dingen die gemeten zijn.

AS1: De afstand die de auto rijdt. Het groene lijntje geeft die afstand aan.
S1: De snelheid van de auto, in kilometers per uur.
T1: De tijd in seconden.

Als je op bijvoorbeeld '/AS1' klikt zie je het precieze getal dat daar bij hoort; op het plaatje van hierboven is de afstand 1.03 meter.

Bijlage II - 8: Opdrachten derde ronde; meer gestructureerde versie




Dit is het filmpje van de stoppende auto.

AS2: De afstand die de auto rijdt. Het groene lijntje geeft die afstand aan.
S2: De snelheid van de auto, in kilometers per uur.
T2: De tijd in seconden.

Als je op '#S2' klikt zie je het precieze getal dat daar bij hoort; op het plaatje van hierboven is de snelheid van de auto 5 kilometer per uur.

**Opdrachten:**

1a. Maak bij het eerste filmpje (***startende*** auto) een lijngrafiek van ***afstand*** ten opzichte van tijd.

**Tip:** Hoe je met het computerprogramma grafieken kunt maken staat op het losse gele vel.
Kies als grafieksoort voor ***'Line'*** .

b. Hoeveel meter rijdt de auto in de eerste 3 seconden ongeveer?

c. Iemand zegt: "Je kunt aan de vorm van de grafiek zien dat de auto in het begin steeds harder gaat rijden." Leg uit hoe dat zit.

d. Na ongeveer 3 seconden blijft de auto met dezelfde snelheid rijden.
Waaraan zie je dat in de grafiek?

2a. Maak bij het eerste filmpje ook een lijngrafiek van ***snelheid*** ten opzichte van tijd.

b. Hoe hard rijdt de auto na 3 seconden ongeveer?

c. Hoe kun je aan deze grafiek zien dat de auto in het begin steeds harder gaat rijden?

d. Na ongeveer 3 seconden blijft de auto met dezelfde snelheid rijden.
Waaraan zie je dat in de grafiek?

3a. Maak bij het tweede filmpje (***stoppende*** auto) een lijngrafiek van ***afstand*** ten opzichte van tijd.
b. Na hoeveel seconden staat de auto helemaal stil?
c. Je kunt aan de vorm van de grafiek zien dat de auto langzamer gaat rijden en dan stopt. Leg uit hoe je dat kunt zien.

4a. Maak bij het tweede filmpje ook een lijngrafiek van ***snelheid*** ten opzichte van tijd.
b. Na hoeveel seconden staat de auto stil?
c. Hoe kun je in deze grafiek zien dat de auto stilstaat?

5a. Als een grafiek omhoog loopt zegt men dat de grafiek 'stijgt'. Als een grafiek omlaag loopt zegt men dat de grafiek 'daalt'.
Controleer of het volgende klopt:
De grafiek van AS1 ten opzichte van T1 is **stijgend**.
De grafiek van S1 ten opzichte van T1 is **stijgend**.
De grafiek van AS2 ten opzichte van T2 is **stijgend**.
De grafiek van S2 ten opzichte van T2 is **dalend**.
b. Leg uit waarom bij het tweede filmpje de ene grafiek stijgt en de andere daalt.

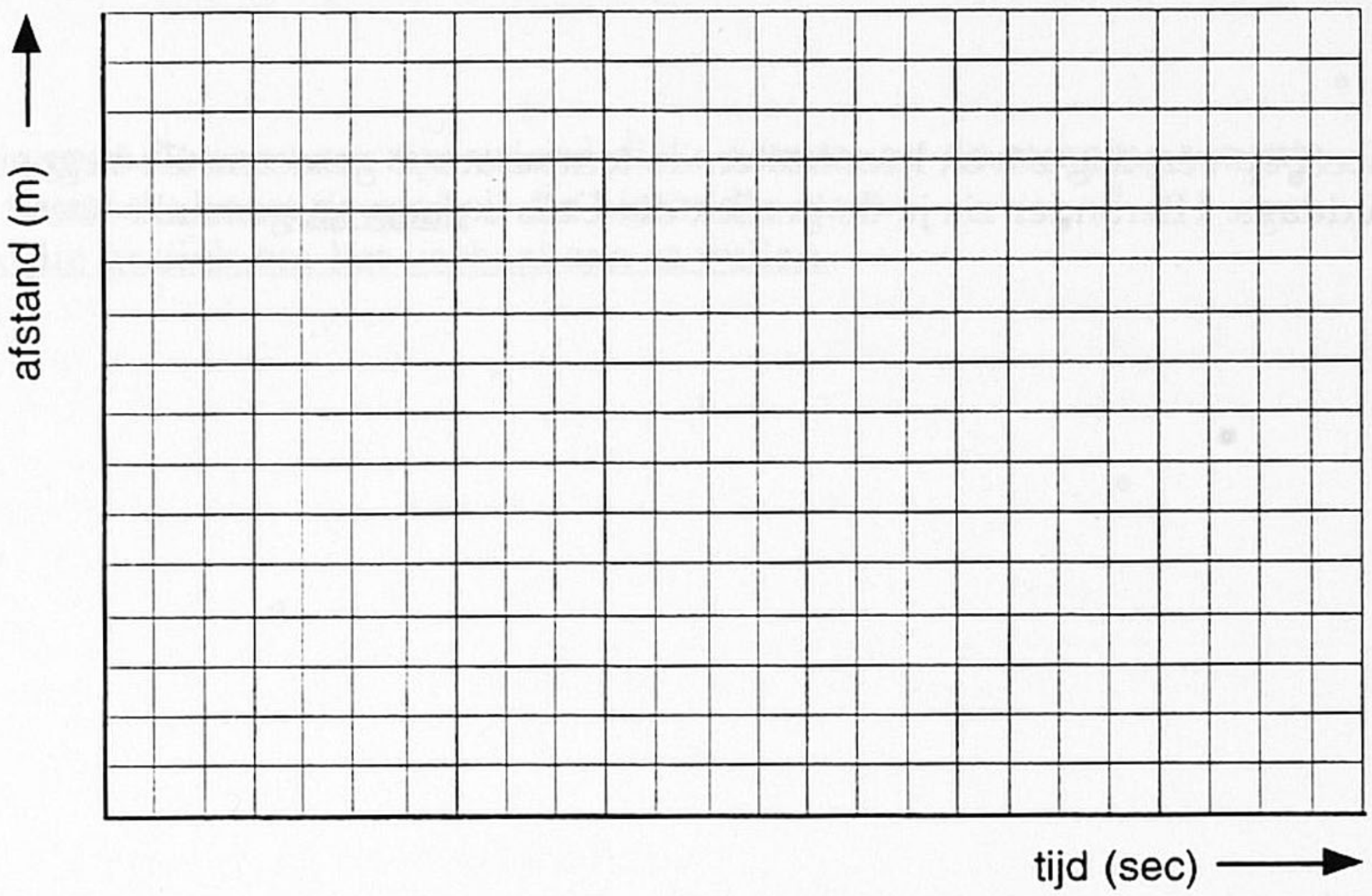
7. Stel je de volgende situatie voor:
Een auto gaat rijden, rijdt dan een tijdje met een vaste snelheid van 30 kilometer per uur en stopt daarna weer.

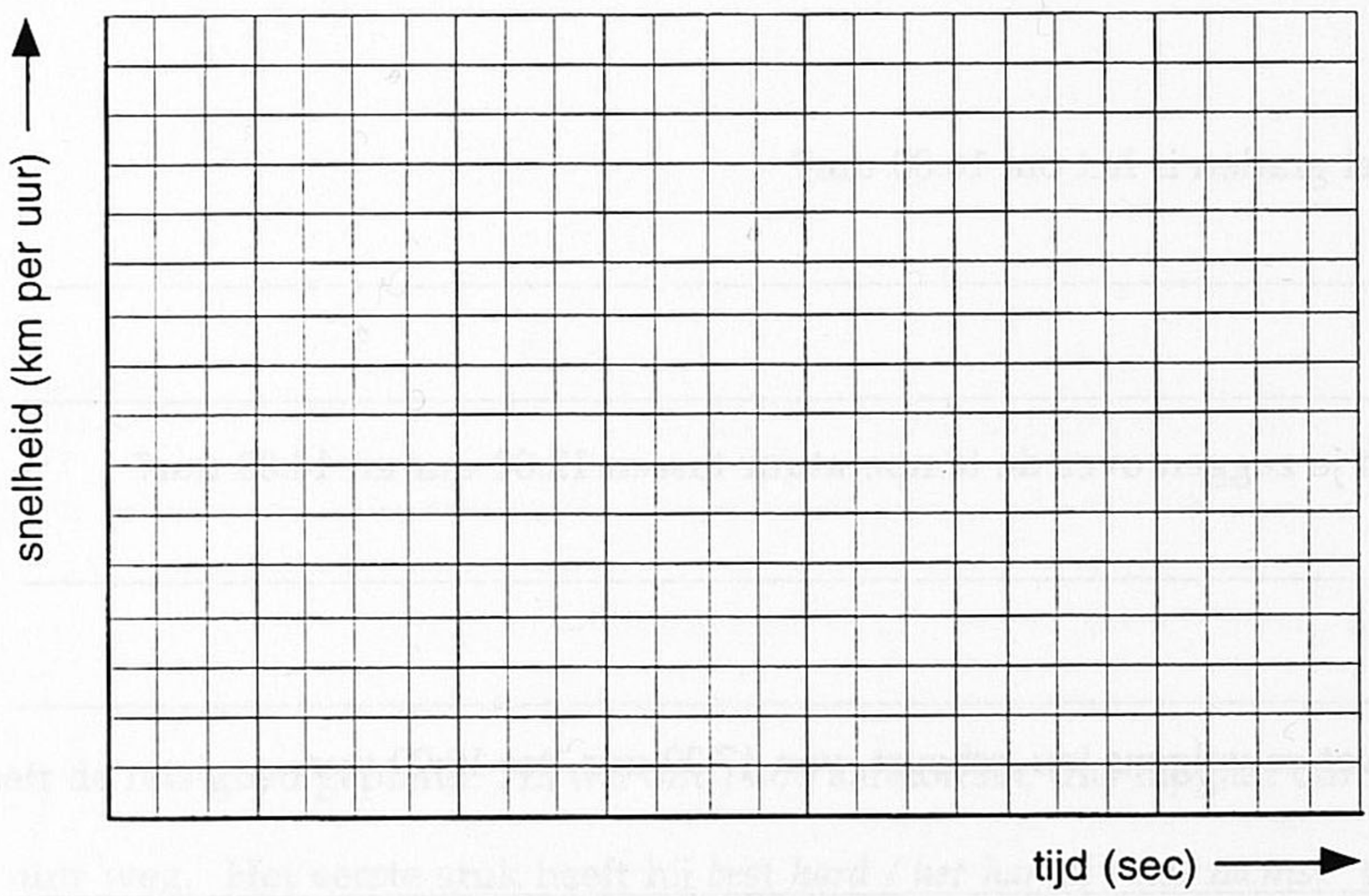
Maak op de volgende bladzijde***twee*** grafieken bij die situatie:
- een lijngrafiek van ***afstand*** ten opzichte van tijd,
- een lijngrafiek van ***snelheid*** ten opzichte van tijd.
Kies zelf welke je het eerste maakt.

**Tip:** In de grafieken die jullie maken zijn de precieze getallen niet zo belangrijk. Het gaat vooral om de **vorm** van de grafieken.

Schrijf bij elke grafiek een uitleg. Vertel wat er in die grafiek te zien is en leg uit hoe.

Bijlage II - 10: Opdrachten derde ronde; meer gestructureerde versie



**Voortoets**

1. Celine heeft op een dag zeven keer buiten de temperatuur gemeten. Ze begon om 12 uur 's middags. Hieronder zie je de grafiek die Celine daarvan gemaakt heeft.

a. Hoeveel graden is het om 16:00 uur?

b. Wat kan je zeggen over de temperatuur tussen 12:00 uur en 14:00 uur?

c. Vertel wat er volgens jou gebeurt van 17:00 uur tot 18:00 uur.

d. In welke maand denk je dat Celine deze grafiek heeft gemaakt?

2. Gerard is gaan fietsen naar zijn vriend die 's zomers op de camping woont.
Bij zijn fietstocht hoort de grafiek die hieronder staat.
Gebruik die grafiek om het verhaal aan te vullen.

Gerard heeft de reis goed gepland. Hij wil om 14.00 aankomen, dus hij gaat om

..... uur weg. Het eerste stuk heeft hij *best hard / het hardst / het zachtst* gefietst.

Gerard eet een ijsje als het ..... uur is. Hij heeft dan ..... kilometer al achter de

rug. .....minuten later rijdt hij weer verder. Eerst rijdt hij

*sneller / langzamer* , want hij is er bijna.

Om 14:20 uur moet Gerard nog ..... kilometer fietsen. Bij de camping staat zijn vriend Peter al op hem te wachten. Totaal heeft Gerard ..... kilometer gefietst.

3. Els heeft een boon op een pak natte watten gelegd. Elke dag meet ze hoe lang de wortel van de boon al is. Van wat ze heeft gemeten, tekent ze na zes dagen een grafiek.

a. Hoe lang is de wortel van de boon na 3 dagen?

_____

b. Wanneer groeit de wortel van de boon het hardst?

_____

c. Wanneer zal de wortel van de boon 9 centimeter lang zijn?

_____

4. Stefan rijdt met z'n vader mee met de auto van Nieuwegein naar Amsterdam. In het begin van de rit vraagt hij telkens na 1 minuut aan z'n vader: Papa, hoe hard rijden we nou?
De antwoorden heeft hij in een tabel opgeschreven:

| tijd (minuten) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| snelheid (km/u) | 0 | 50 | 70 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 80 | 80 | 100 | 100 | 100 |

a. Teken zelf de grafiek op het ruitjesblad.

b. Stefan en z'n vader praten over de rit. Schrijf op wat ze de eerste vier minuten kunnen hebben gezegd. Schrijf dit op als een gesprek.

Stefan: _____

_____

vader: _____

_____

Stefan: _____

_____

vader: _____

(enz.) _____

_____

_____

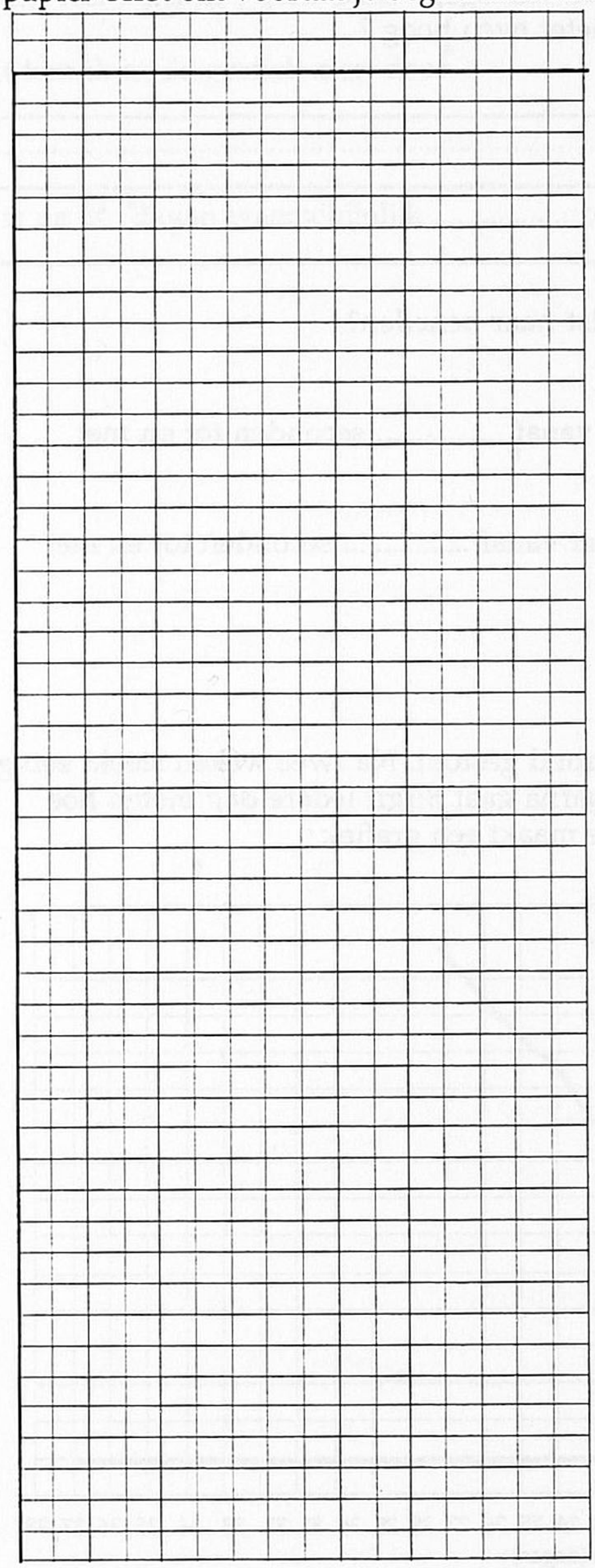
_____

_____

# Bijlage III - 5: Voortoets

## Tussentoets Measurement in Motion

Pieter gaat in het Reuzenrad. Hij draait twee rondjes.
Open MiM2, reuzenrad.
1 a. Teken hieronder de grafiek van de hoogte waarop Pieter zich telkens bevindt.
Draai het papier eerst om voordat je begint met tekenen.



1 b. Mike stapt 10 seconden later in dan Pieter.
Teken met een andere kleur (!) *in dezelfde grafiek van opdracht 1 a* twee rondjes van de hoogte van het bakje waar Mike in zit.

1c. Wanneer zitten Mike en Pieter even hoog ?

---

---

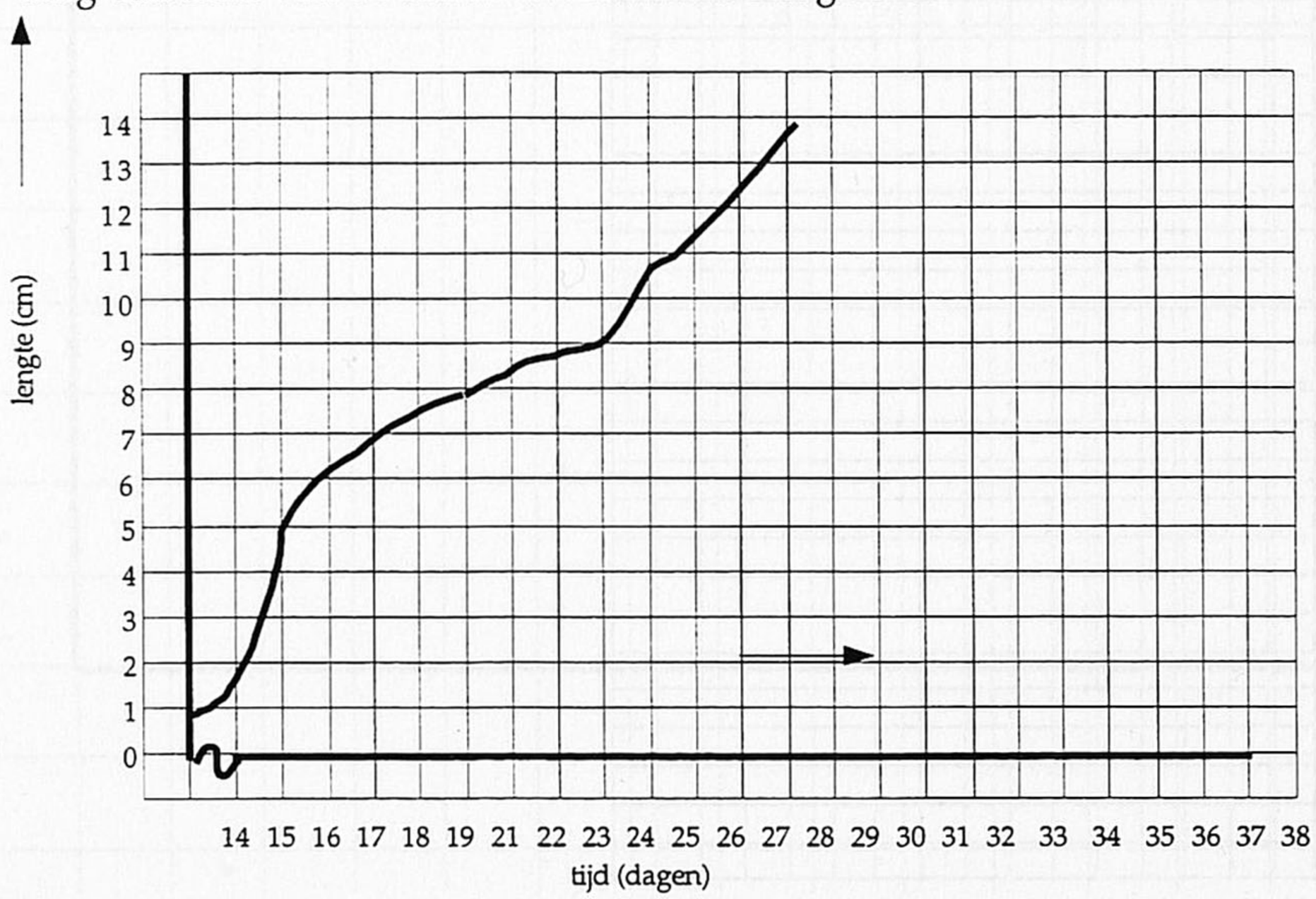
1d. Wanneer gaat Mike het snelst naar beneden?

Mike gaat het snelst naar beneden vanaf ..... seconden tot en met

..... seconden en daarna weer vanaf ..... seconden tot en met

..... seconden.

2. Birgit heeft een narcisbol in de grond gestopt. Na twee weken steekt een groen puntje van een centimeter uit de bol. Daarna gaat Birgit iedere dag meten hoe lang één blad van de narcis is. Ze maakt een grafiek.



Bijlage IV - 3: Tussentoets

Vul in:

De .....e dag groeide het narcisblad het hardst. Vanaf dag ..... tot en met dag ..... is het blad van de narcis niet zo snel gegroeid. Waarschijnlijk heeft Birgit de bol toen *veel / weinig / geen water* gegeven. Dat het narcisblad snel of langzaam groeit kan ik in de grafiek zien door

.....

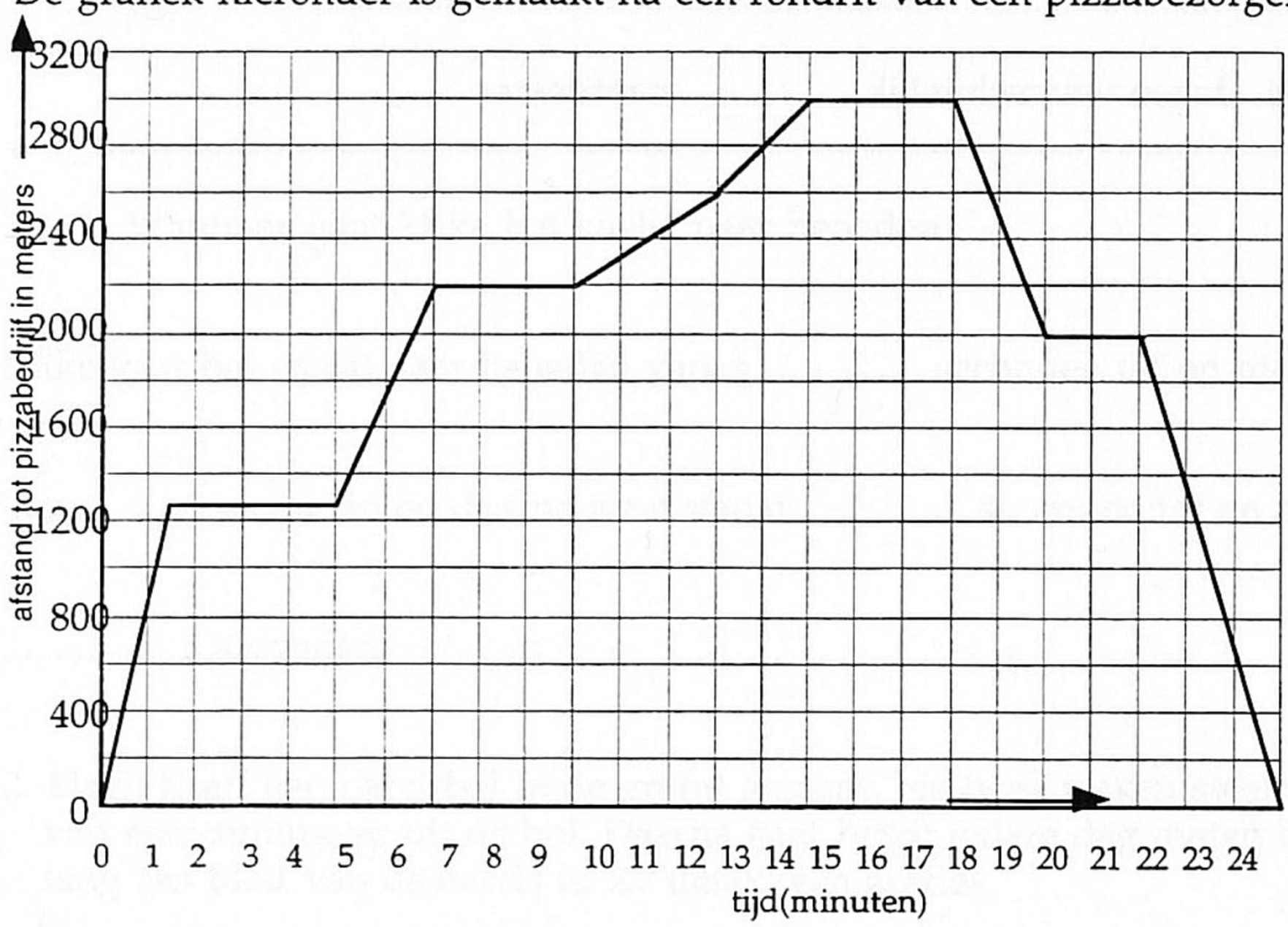
Het narcisblad is na 34 dagen waarschijnlijk ..... centimeter.

Naam.....

Proefwerk project Measurement in Motion

**1. Pizza**

De grafiek hieronder is gemaakt na een rondrit van een pizzabezorger.




1. Vul in:

De pizzabezorger heeft totaal ..... meter gereden. Dat weet ik, omdat

.....

.....

De horizontale stukken in de grafiek betekenen dat de pizzabezorger .....

.....

De pizzabezorger heeft het hardst gereden tussen de .....ste minuut en de .....

.....ste minuut. Hij reed toen ..... kilometer per uur. Dat weet ik,

doordat ik eerst.....

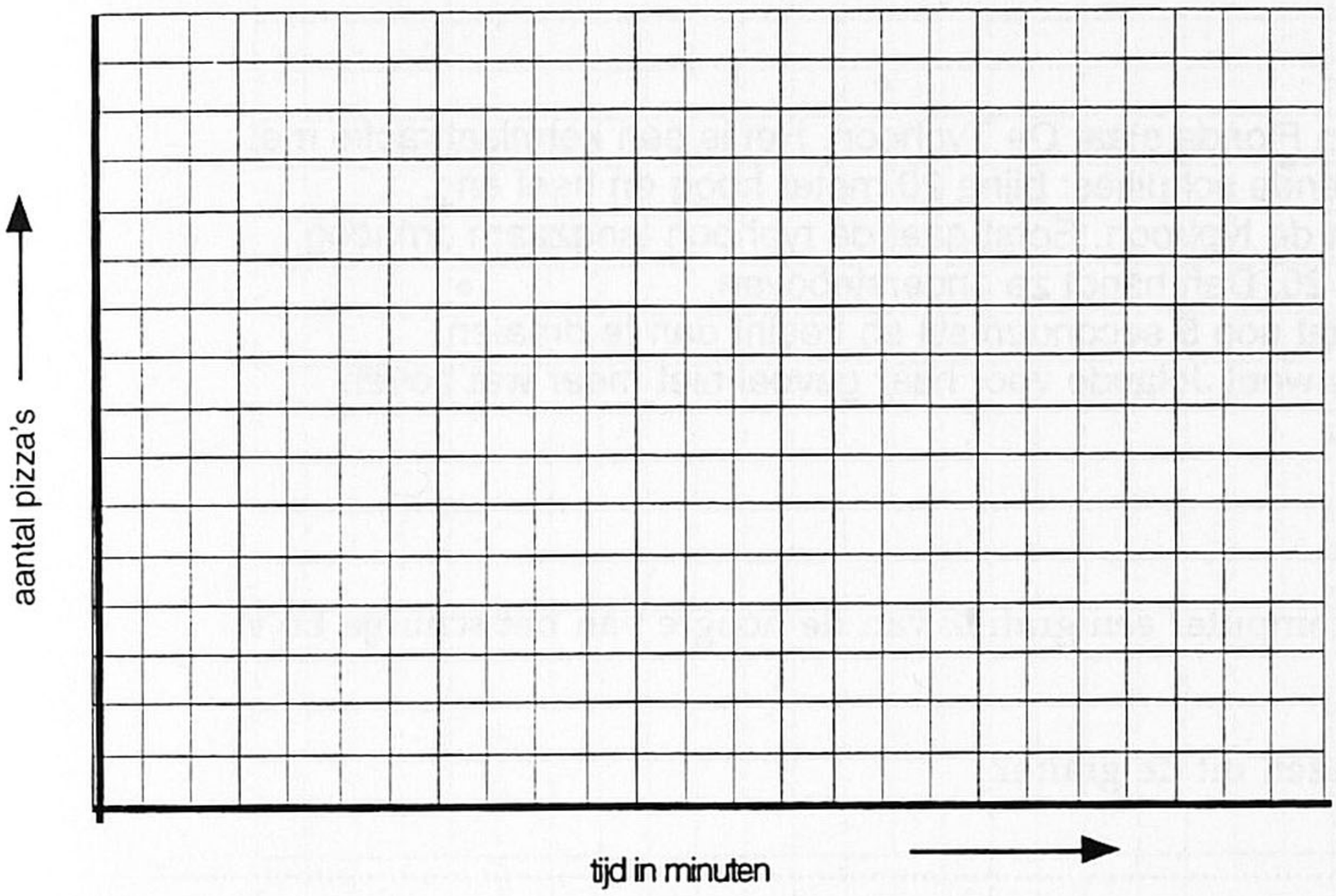
en toen .....

Vervolgens heb ik.....

.....

2. De pizzabezorger uit de vorige opgave heeft als hij weggaat 10 pizza's bij zich.

Maak een grafiek waarin je laat zien hoeveel pizza's de pizzabezorger gedurende de rit nog in zijn box bij zich heeft.
Vul zelf de getallen in langs de assen.




3. Frans heeft voor Measurement in Motion een filmpje gemaakt.
Hij mocht mee met zijn oom die machinist is. Na afloop heeft hij de film bekeken en een aantal keer de (gefilmde) snelheid opgeschreven:

| tijd (minuten) | 0 | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| snelheid (km/u) | 0 | 0 | 0 | 0 | 80 | 80 | 80 | 40 | 0 | 0 | 40 | 80 | 100 | 100 | 100 |

a. Teken de grafiek van *de snelheid t.o.v. de tijd* op de volgende bladzijde.
b. Schrijf een verhaal (minimaal 10 regels) over de treinreis.
Dit verhaal moet te begrijpen zijn voor een brugklasleerling van een andere school, zonder dat hij / zij deze opdracht heeft gezien.
Gebruik de begrippen SNELHEID en TIJD.

**Draai je blaadje eerst om voordat je begint met tekenen!**

**Proef, Measurement in Motion, met de computer.**

Naam:.....

MiM 9: De Typhoon

In Disneyland in Florida staat De Typhoon. Het is een kermisattractie met twee sneldraaiende schuitjes: bijna 20 meter hoog en heel eng.
Jolande gaat in de typhoon. Eerst gaat de typhoon langzaam omhoog.
Jolande telt tot 20. Dan hangt ze ondersteboven.
De typhoon staat nog 5 seconden stil en begint dan te draaien.
Na drie rondjes weet Jolande voor haar gevoel niet meer wat boven en wat onder is.

1 Maak met de computer een grafiek van de hoogte van het schuitje t.o.v. de tijd.

2 Wat kan je aflezen uit de grafiek?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3 Teken de hoogte - tijd grafiek van de eerste 33 seconden.
Doe dit op de achterkant van dit blad.
Reken eerst aan de hand van het verhaal en de film uit wat je precies moet tekenen.

# Bijlage V - 4: Natoets