

De grafische rekenmachine in het vmbo

Martin van Reeuwijk (red.)



Freudenthal Instituut
Aidadreef 12
3561 GE Utrecht

Januari 2005



ICO-ISOR Onderwijsresearch
Heidelberglaan 1
3584 CS Utrecht

Onderwijskunde
ICO-ISOR Onderwijsresearch
Universiteit Utrecht

Freudenthal Instituut
Universiteit Utrecht

Heidelberglaan 1
3584 CS Utrecht
Nederland
telefoon: 030 - 253 49 40
e-mail: owksecr@fss.uu.nl
edu.fss.uu.nl/ico-isor/internereeks.html

Aïdadreef 12
3561 GE Utrecht
Nederland
030 - 263 55 55
fi@fi.uu.nl
www.fi.uu.nl

ISOR-rapportnummer 04.06
ISSN
ISBN 90-6709-070-0

Titel: De grafische rekenmachine in het vmbo
Auteurs: Martin van Reeuwijk (redactie)
Freudenthal Instituut
Januari 2005

Dit onderzoek is gefinancierd uit het budget dat het ministerie van OC&W jaarlijks beschikbaar stelt aan de LPC ten behoeve van Kortlopend Onderwijsresearch, dat uitgevoerd wordt op verzoek van het onderwijsveld.

© 2005 Universiteit Utrecht/Onderwijskunde/
ICO-ISOR Onderwijsresearch
Utrecht University/Dept. of Educational Sciences/ICO-ISOR

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Onderwijskunde/ICO-ISOR Onderwijsresearch.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission of the Department.

Inhoud

| | |
|---|----|
| Inhoud..... | 3 |
| Samenvatting | 5 |
| 1 Aanleiding | 7 |
| De introductie van de grafische rekenmachine | 7 |
| Het vmbo | 7 |
| En de wiskunde..... | 8 |
| ICT en onderwijs | 9 |
| Vragen leiden tot onderzoek | 9 |
| 2 Opzet en aanpak..... | 12 |
| Drie scholen..... | 12 |
| Keuzes maken..... | 13 |
| Hoe antwoorden te vinden op de vragen?..... | 15 |
| Methoden van onderzoek..... | 16 |
| Methode van verslaglegging en doelgroep | 16 |
| 3 Resultaten | 17 |
| De TI-73, een “eenvoudige” grafische rekenmachine | 17 |
| Onderzoeksvraag 1 | 19 |
| Onderzoeksvraag 2 | 21 |
| Hoe gaan de leerlingen met de rekenmachine om?..... | 23 |
| Onderzoeksvraag 3 | 25 |
| Overige ervaringen | 27 |
| 4 Conclusies en aanbevelingen | 29 |
| Conclusies op een rij..... | 30 |
| Conclusies samengevat..... | 32 |
| Vragen voor vervolgonderzoek | 33 |
| Verwijzingen | 33 |
| Bijlage inhoud cd-rom | 35 |

Samenvatting

De grafische rekenmachine (GR) is voor leerlingen in de bovenbouw van havo en vwo een verplicht instrument. Alle leerlingen hebben een GR tot hun beschikking en kunnen die inzetten bij de vakken wiskunde, natuurkunde, scheikunde, biologie, management & organisatie en economie.

De grafische rekenmachine kan veel (tijdrovend en lastig) reken- en tekenwerk uit handen nemen. Hierdoor kan in het onderwijs meer aandacht besteed worden aan het ontwikkelen van kennis en begrip van de exacte vakken. Het vormgeven en implementeren van deze mogelijkheden in de praktijk blijkt echter niet altijd even makkelijk te gaan; Over de (on)mogelijkheden van de GR is al veel geschreven in Euclides en de Nieuwe Wiskrant.

Maar waarom is het gebruik van een Grafische Rekenmachine voorbehouden aan leerlingen in de bovenbouw van havo en vwo? In het vmbo is het rekenwerk (en het tekenen van grafieken, het doen van statistiek, het werken met maten en vreemde eenheden, ...) voor veel leerlingen een struikelblok dat hen belemmert om verder te komen in de exacte vakken. Een grafische rekenmachine zou ook de vmbo-leerling lastig reken- en tekenwerk uit handen kunnen nemen, waardoor juist de vmbo leerling zich meer kan richten op de betekenis van de op te lossen problemen en hij meer inzicht in de wiskundige begrippen en ideeën zou kunnen ontwikkelen.

We menen dat een grafische rekenmachine een heel bruikbaar en nuttig instrument kan zijn voor vmbo leerlingen. De techniek (een krachtige, robuuste en gebruikersvriendelijke GR) is binnen bereik en het is daarom de moeite waard om te onderzoeken wat de voor- en nadelen zijn van een GR in het vmbo.

In 2003 en 2004 is op drie scholen geëxperimenteerd met grafische rekenmachines en onderzocht wat de mogelijkheden ervan zijn voor leerlingen in het vmbo; vooral in klassen 1 en 2 van leerweg ondersteund onderwijs (LWOO) tot vmbo - theoretisch, en een enkele vmbo - theoretisch klas 3.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van de TI-73, een eenvoudige uitvoering van de grafische rekenmachine die momenteel in de bovenbouw havo-vwo gebruikt wordt (TI-83 Plus). Met deze rekenmachine – die in de USA is ontwikkeld en wordt gebruikt door leerlingen van 10 tot 14 jaar oud – zijn kleine onderwijsexperimenten uitgevoerd bij enkele onderwerpen uit het Nederlandse wiskundeonderwijs. Docenten hebben samen met onderzoekers van het Freudenthal Instituut onderwerpen geselecteerd en onderwijs ontwikkeld zodat een beeld kon worden gekregen van de mogelijkheden van een grafische rekenmachine in het wiskundeonderwijs op het vmbo.

Door lessen te observeren, gesprekken met leerlingen en leerkrachten te voeren en de functionaliteiten van de grafische rekenmachine te vergelijken met de wiskundige inhoud in klassen 1, 2 en 3, is er zicht verkregen op wat er wel en niet zou kunnen met een grafische rekenmachine in het vmbo.

Het onderzoek heeft veel informatie opgeleverd over de mogelijkheden van de GR in het vmbo. Samengevat luiden de belangrijkste conclusies uit dit kortlopend onderwijsonderzoek:

- Een grafische rekenmachine biedt zeker mogelijkheden voor leerlingen in het vmbo, zowel didactisch als inhoudelijk. Leerlingen kunnen en durven meer. Ze vertonen onderzoekend en experimenterend gedrag en er kan meer aandacht worden besteed aan de wiskunde.
- De huidige grafische rekenmachines hebben veel mogelijkheden, maar teveel functionaliteit voor het vmbo. Het blijkt dat de overbodige functionaliteiten (knoppen en commando's die niet door leerlingen worden gebruikt) en de Engelse interface leerlingen niet hindert. Toch is er vanuit leerlingen en docenten een duidelijke vraag naar een machine die in bediening, vormgeving en functionaliteit beter aansluit bij de inhoud van het onderwijs op het vmbo en het type leerlingen.
Van de gebruikte machines zijn met name het grote scherm en de reken-, teken-, omreken-, breuken-, en tabelfuncties zeer bruikbaar gebleken. Ook de mogelijkheid om kleine programma's (de applicatie NUMLINE waarmee met een getallenlijn kan worden gewerkt) op de GR te draaien lijkt zeer goed bruikbaar.
- Het onderwijs op het vmbo zal aangepast moeten worden als een GR wordt ingevoerd. Omdat de aandacht verschuift van het zelf rekenen en tekenen naar het gebruiken van een GR voor dit soort activiteiten, zullen de boeken (lesmaterialen) en didactiek mee moeten verschuiven.
- Een GR moet doordacht worden ingevoerd, langzaam, zodat leerlingen niet in verwarring raken door de vele mogelijkheden. Een GR dient ook alleen daar ingezet te worden waar er meerwaarde is

De instap voor dit onderzoek, de aanname dat een GR mogelijkheden biedt voor leerlingen in het vmbo, is bevestigd. In dit onderzoeksverslag doen we verslag van een aantal kleine onderwijsexperimenten die tot bovenstaande bevindingen en conclusies leiden.

Dit is een korte brochure met een cd-rom waarop voorbeelden van lesmateriaal, lesverslagen, notities, foto's en videofragmenten van leerlingen aan het werk staan. We wensen ieder veel plezier met dit onderzoeksverslag en de cd-rom. Wij hebben in ieder geval veel geleerd en plezier gehad.

Ingrid Berwald
Ruud Jongeling
Peter van Wijk
Peter van Vucht
Martin van Reeuwijk

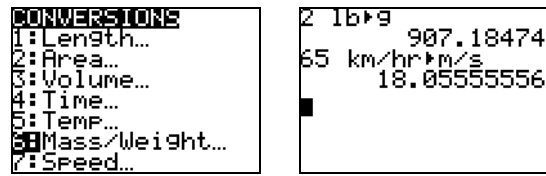
Met dank aan: Texas Instruments (Mark de Hiep, Jean Dorff, Pieter Schadron) en het Freudenthal Instituut (Paul Drijvers, Vincent Jonker en met name Michiel Hermsen die als student-assistent veel lessen heeft geobserveerd).

1 Aanleiding

omrekenen en opzoeken

Bij techniek, maar ook bij koken, worden nogal eens afwijkende maten en constanten gebruikt. Bijvoorbeeld een *lb*? Dat is het Engelse pond (massa en niet geld), maar hoeveel gram is dat dan?

Met de convert-functie op de TI-73 is dat makkelijk op te zoeken, 453 gram en nog een beetje. Ook in andere “standaard omrekeningsituaties” kan de convert-functie handig worden gebruikt. Leerlingen gebruiken de convert-functie ook om kilometer per uur naar meter per seconde om te rekenen en bijvoorbeeld liters naar cm^3 .



De introductie van de grafische rekenmachine

In 1989 werd de grafische rekenmachine in Nederland geïntroduceerd (van Reeuwijk, 1990), de blauwe TI 81. Eerder waren al machines met een groter scherm en grafische en algebraïsche mogelijkheden beschikbaar, maar de TI-81 was een grafische rekenmachine die samen met en voor het (voortgezet) onderwijs was ontwikkeld.

In Nederland volgden verschillende kleine onderwijsexperimenten in de bovenbouw van havo en vwo om de mogelijkheden van een grafische rekenmachine te onderzoeken. Ervaringen uit de kleine onderzoeken werden gebruikt om een grootschaliger ontwikkelingsonderzoek naar de grafische rekenmachine uit te voeren dat uitmondde in een onderzoeksrapport (Doorman, Kindt en Drijvers, 1994) met de aanbeveling om een grafische rekenmachine landelijk in te voeren in bovenbouw havo en vwo. Bij de invoering van de nieuwe tweede fase van havo en vwo in 1997 is besloten dat leerlingen bij het centraal examen wiskunde de grafische rekenmachine kunnen gebruiken.

Dat is inmiddels acht jaar geleden en de ontwikkelingen hebben sindsdien niet stil gestaan. De machines hebben steeds meer mogelijkheden gekregen en mogen nu ook bij natuurkunde, scheikunde, biologie, management & organisatie en economie gebruikt worden. Door diverse instanties zijn nascholingscursussen verzorgd voor docenten uit deze vakken om met de grafische rekenmachine vertrouwd te raken (zie T³, www.aps.nl/t3).

Het vmbo

Zestig procent van de Nederlandse leerlingen in het voortgezet onderwijs zit op het vmbo. In mei 1998 werd de wet mavo/vbo/vso aangenomen die het vbo en mavo duidelijker beoogde neer te zetten als vmbo. Het vmbo is afgestemd op de basisvorming

en sluit aan op het vervolgonderwijs. Het vmbo heeft vier leerwegen (theoretisch, gemengd, kaderberoepsgericht en basisberoepsgericht) en is verdeeld in vier sectoren (zorg en welzijn, techniek, economie en landbouw). Op sommige scholen wordt een deel van de lessen buiten de school verzorgd in leerwerktrajecten. Het vmbo verzorgt onderwijs in algemene en beroepsvoorbereidende vaardigheden en biedt leerwegondersteunend onderwijs (LWOO) voor leerlingen die extra zorg nodig hebben. Vanuit het vmbo kunnen leerlingen doorstromen naar het mbo of de havo (via de theoretische leerweg) of ze kunnen direct aan het werk. In de eerste jaren van het vmbo doorlopen leerlingen de basisvorming: een uitgebreid vakkenpakket dat voor bijna iedereen hetzelfde is. Het zorgt voor een brede algemene ontwikkeling. Het vmbo is beroepsvoorbereidend. Het “echte” beroep leren leerlingen op het mbo op een ROC.

En de wiskunde

Wiskunde is voor de leerlingen in de basisvorming een verplicht vak. Op de meeste scholen wordt de wiskunde in wiskundelessen aangeboden en wordt er een boek gebruikt. Meestal zijn er verschillende varianten van een boek in gebruik. Een typische indeling is:

- Voor leerjaren 1 en 2 een boek vmbo basis-kader, een voor vmbo kgt (kader, gemengd en theoretisch) en een boek vmbo gt havo (gemengd theoretisch en havo);
- Voor leerjaren 3 en 4 een boek vmbo basis, een boek vmbo kader en een boek vmbo gt.

De boeken in de eerste leerjaren verschillen van elkaar qua diepgang en theoretisch niveau. In latere leerjaren verschillen de boeken ook naar onderwerp. In de theoretische leerweg komen meer onderwerpen aan bod dan in de andere leerwegen. Bij wiskunde leren leerlingen vooral rekenen, meten, tekenen, met tabellen, grafieken en formules omgaan, met maten werken, en eenvoudige statistiek.

In het vmbo wordt in de wiskundelessen relatief veel aandacht besteed aan het leren en onderhouden van wiskundige vaardigheden die door een computer of (grafische) rekenmachine zouden kunnen worden uitgevoerd. Vooral voor leerlingen in de beroepsgerichte leerwegen maakt dit de kloof tussen de praktijkvakken en de (theoretische) AVO vakken (zoals wiskunde) nog groter.

Voor een groot aantal leerlingen in het vmbo vormen reken- en wiskundige vaardigheden vaak een struikelblok bij het probleem oplossen. Het niet voldoende beheersen van deze vaardigheden weerhoudt hen van het zich verder ontwikkelen in de wiskunde en andere exacte vakken. Veel tijd en energie wordt gestoken in het aanleren en oefenen van basisvaardigheden maar er beklijft niet zo veel. Veel leerlingen gebruiken een rekenmachine voor eenvoudige berekeningen. Daarnaast wordt in de wiskundelessen in het vmbo veel tijd besteed aan herhaling.

Bovenstaande ervaringen gelden voor alle sectoren en leerwegen in het vmbo, maar zijn het sterkst in de beroepsgerichte leerwegen (inclusief LWOO).

ICT en onderwijs

ICT is voor leerlingen niets nieuws. Ze komen het dagelijks tegen. In de praktijkvakken leren leerlingen met apparaten en computers werken en leren ze gebruik te maken van hulpmiddelen en gereedschappen om te meten en te rekenen; denk hierbij aan kassa's en computers, keukenapparatuur, (elektrische) gereedschappen. Daarnaast zijn leerlingen buiten school ook vertrouwd geraakt met verschillende vormen van elektronica: mobiele telefoons, computerspelletjes, mp3-spelers, enzovoorts.

ICT kan worden gebruikt als gereedschap (tool) om het rekenen en tekenen en schrijven eenvoudiger te maken (computer, rekenmachine), als communicatiemiddel (telefoon, e-mail), als naslagwerk en bron van informatie (internet) en op school ook voor toets- en oefendoeleinden.

Kruislings vermenigvuldigen ervaring van een docent

Mijn sterkste moment blijft de leerling die kruislings vermenigvuldigen maar niet kan begrijpen. Hij weet nog wel dat je maal en gedeeld door moet doen, maar snappen is er niet bij en welke getallen dan maal (x) en gedeeld door (:) moeten worden is ook een raadsel. Hij pakt de GR en tikt bij formules in:

$$Y1 = X : 2 \times 3$$

Bij de tabel vindt hij tot zijn verbazing de juiste antwoorden en neemt ze over. Dan gaat hij twijfelen en tikt bij de formule Y2 in:

$$Y2 = X : 3 \times 2$$

Tot zijn (en mijn) stomme verbazing vindt hij weer het juiste antwoord, maar wel precies in de andere kolom. Als je X en Y verwisselt krijg je dezelfde vermenigvuldiging. Hij was zo blij dat hij eindelijk wist hoe je deze opgaven moest maken!

| Plot1 | Plot2 | Plot3 |
|-------|-------|-------|
| Y1 | X/2*3 | |
| Y2 | X/3*2 | |
| Y3 | = | |
| Y4 | = | |

| X | Y1 | Y2 |
|------|-----|---------|
| 1 | 1.5 | .66667 |
| 3 | 1.5 | 1.33333 |
| 4.5 | 1.5 | 2.0 |
| 6 | 1.5 | 2.66667 |
| 7.5 | 1.5 | 3.33333 |
| 9 | 1.5 | 4.0 |
| 10.5 | 1.5 | 4.66667 |
| X=1 | | |

Als didactisch hulpmiddel om tot inzicht en begrip van (wiskundige) kennis en vaardigheden te komen wordt ICT niet veel ingezet. Uit ervaringen in diverse projecten en onderzoeken blijkt dat het mogelijk is dat ICT ook deze rol kan vervullen (Bokhove en van Reeuwijk, 2004). Een andere veel gedeelde ervaring over het gebruik van ICT is dat het in de ogen van docenten een meerwaarde moet hebben voor het onderwijs, anders wordt het niet gebruikt. Het moet niet alleen voor de docent, maar zeker ook voor de leerlingen duidelijk zijn wat ICT extra biedt.

Vragen leiden tot onderzoek

Gegeven de ervaringen van leerlingen met diverse elektronische hulpmiddelen binnen en buiten de school, de ervaringen met een grafische rekenmachine in de bovenbouw

havo en vwo, de situatie op het vmbo met de enorme diversiteit aan leerlingen, en de problemen die leerlingen hebben met het leren en onderhouden van wiskundige vaardigheden, hebben we ons de vraag gesteld of een grafische rekenmachine in het vmbo kan helpen een aantal van deze problemen weg te nemen of minder problematisch te maken. Bovendien daagt nieuwe technologie leerlingen vaak uit tot het oplossen van problemen en kan bijdragen aan de motivatie om te leren.

De centrale onderzoeksvraag, van dit kortlopend onderzoek luidt:

Wat zijn de mogelijkheden van een grafische rekenmachine voor leerlingen in het vmbo (inclusief het LWOO) en wat zijn aandachtspunten voor verder onderzoek en mogelijke implementatie?

Deze algemene vraag leidt tot explorierend, verkennend onderzoek; tot het in kaart brengen van mogelijkheden. Er zijn diverse soorten mogelijkheden om een grafische rekenmachine te gebruiken. Een grafische rekenmachine kan ten eerste worden ingezet als gereedschap bij het oplossen van wiskundige problemen en vraagstukken, maar biedt ook mogelijkheden om gebruikt te worden als (reken)gereedschap bij andere vakken. Een grafische rekenmachine kan ten tweede ook gebruikt worden als middel om wiskundige begrippen en modellen te *leren*, denk hierbij bijvoorbeeld aan een verhoudingstabel die ook op een grafische rekenmachine kan worden gebruikt. Ten derde, de rekenmachine kan ook gebruikt worden om wiskundige begrippen *te ontdekken*. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld proefondervindelijk vaststellen dat -- wordt + (aftrekken van negatieve getallen is het hetzelfde als optellen) en + - wordt - (optellen van een negatief getal is hetzelfde aftrekken). Door de operaties te visualiseren op het scherm kunnen de regels betekenis krijgen. Een ander voorbeeld is het met de GR visualiseren dat kwadrateren niet hetzelfde is als 2 keer zoveel nemen (een veel gemaakte fout in de beroepsleerwegen).

Naast de vakinhoudelijke mogelijkheden om een grafische rekenmachine in te zetten, zijn er ook andere aspecten die onderzocht dienen te worden; hoe complex mag zo'n apparaat zijn, wat is de rol van de taal waarmee het apparaat bediend wordt? Deze aandachtspunten leiden tot een drietal deelonderzoeksvragen, die naast de centrale onderzoeksvraag de kern vormen van het onderzoek:

1. Bij welke onderwerpen van de wiskundelessen in het vmbo is het gebruik van een grafische rekenmachine mogelijk en heeft het meerwaarde?
2. Hoe gaan leerlingen in het vmbo om met een grafische rekenmachine qua bediening en robuustheid, en zien leerlingen het nut in van een GR?
3. Wat zijn de eigenschappen waaraan een GR moet voldoen wil hij in het vmbo gebruikt gaan worden? Wat moet een GR wel en niet kunnen?

De verwachting was dat er mogelijkheden zouden zijn voor een grafische rekenmachine, maar niet iedereen was van tevoren zo positief gestemd, zoals uit onderstaande gedachten van één van de docenten blijkt.

“Ongeveer een jaar geleden werd me in het kader van een kortlopend onderzoek gevraagd eens na te denken over de bruikbaarheid van de grafische

rekenmachine in het vmbo. Zelf ben ik werkzaam in de onderbouw van de basis- en kaderberoepsgerichte leerwegen, al dan niet met leerwegondersteuning. De rekenmachines die de leerlingen gebruiken zijn de TI-30 en de Casio FX-82, beide met een tweeregelige display. De vraag of de grafische rekenmachine iets kan betekenen voor deze leerlingen leek me nogal gewaagd. Is zo'n rekenmachine voor deze leerlingen niet erg ingewikkeld en hebben ze al die geavanceerde mogelijkheden wel nodig? Is het eigenlijk niet hetzelfde als met een Formule 1 wagen rijden door de dorpsstraten van Kapelle?"

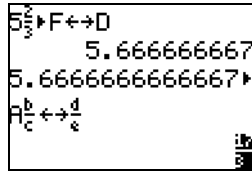
Met een gezonde kritische houding, maar ook met enthousiasme en nieuwsgierigheid is vervolgens het onderzoek van start gegaan.

2 Opzet en aanpak

Omzetten van breuken

Breuken zijn lastig. De breukentoetsen op de TI-73 zijn “te gek” volgens enkele vmbo leerlingen. Je kunt heel makkelijk van kommagetallen naar breuken en omgekeerd, breuken vereenvoudigen, breuken optellen en aftrekken.

Een groepje leerlingen speelde met de TI-73 en had zonder instructie vooraf of uitleg van de docent razendsnel door hoe de breukentoetsen werken. Fascinerend om te zien hoe de leerlingen gemotiveerd waren om uit te vinden hoe het apparaat werkt.



In 2003 is op drie scholen op zeer kleine schaal ervaring opgedaan met een grafische rekenmachine in het vmbo. Deze kleine onderzoeken werden gesponsord door Texas Instruments die hiervoor rekenmachines leverde. Het betrof vooral incidentele klassenexperimenten met enkele grafische rekenmachines die werden uitgevoerd door enthousiaste docenten en vrijblijvend begeleid door medewerkers van APS wiskunde, Texas Instruments en het Freudenthal Instituut. Op basis van deze ervaringen is in het najaar van 2003 een Kortlopend Onderwijsonderzoek (KLOO) aangevraagd dat is toegekend en is uitgevoerd in 2004.

In het KLOO is voortgebouwd op de eerdere ervaringen, het onderzoek is voortgezet op dezelfde drie scholen en Texas Instruments is het onderzoek blijven sponsoren door grafische rekenmachines ter beschikking te stellen.

In dit hoofdstuk beschrijven we kort de scholen die meededen aan het onderzoek, de keuzes die zijn gemaakt, een verdere uitwerking van de drie onderzoeksvragen en de methoden van dataverzameling en data-analyse die zijn gehanteerd.

Drie scholen

Het onderzoek is uitgevoerd op drie scholen: College de Klop in Utrecht, het Da Vinci College in Roosendaal en het IJsselcollege in Capelle aan de IJssel. De rekenmachines zijn op drie vmbo-afdelingen van deze scholen in verschillende leerwegen en in verschillende leerjaren ingezet om antwoorden op de drie vragen te krijgen.

College de Klop

College de Klop is een school in de wijk Overvecht in Utrecht. De school heeft een vmbo-theoretische leerweg en een havo-vwo afdeling. De school heeft relatief veel

allochtone leerlingen en de leerlingen komen vooral uit lagere en midden socio-economische klassen.

Experimenten met de grafische rekenmachine en het onderzoek zijn uitgevoerd in klassen 2 en 3 van de vmbo theoretische leerweg.

- In klas 2 is hoofdstuk 11 uit Moderne Wiskunde over grafieken vervangen door eigen lesmateriaal ter grootte van 10 lessen. De mogelijkheden van de tabel, grafiek, formule van de grafische rekenmachine zijn hier gebruikt om verbanden nader te onderzoeken.
- In de derde klas zijn vijf lessen uit het hoofdstuk 6 uit Moderne Wiskunde over rekenen met procenten gebruikt om heel intensief een groepje van 4 leerlingen te volgen. Vooral de mogelijkheden die de TI-73 biedt voor het omrekenen van eenheden en grootheden zijn nader onderzocht.

Da Vinci College (scholengemeenschap Tongerlo)

Het Da Vinci College in Roosendaal is een vmbo afdeling van de OMO-scholengemeenschap Tongerlo. De leerlingen komen vooral uit midden en lagere sociale klassen en zijn voor ruim 30% allochtoon.

Het onderzoek heeft vooral plaats gevonden in de eerste en tweede klassen basis- en kader-beroepsgerichte leerwegen met en zonder leerwegondersteuning. De grafische rekenmachine is gebruikt naast het boek (Getal en Ruimte), met extra werkbladen erbij. Met name bij de volgende onderwerpen is de GR ingezet:

- Negatieve getallen.
- Verbanden; tabellen, grafieken, formules.

IJsselcollege

Het IJsselcollege in Capelle aan de IJssel is een scholengemeenschap voor praktijkonderwijs tot en met vwo. De leerlingen komen voornamelijk uit de regio. Op het LWOO en vmbo komen steeds meer leerlingen uit Rotterdam, uit de sociaal zwakkere wijken. Op de school zitten allochtone leerlingen van veelal derde generatie. De GR gebruik is in het vmbo voornamelijk in de onderbouw LWOO gebruikt, maar ook in de klassen waarin met leerwerktrajecten wordt gewerkt.

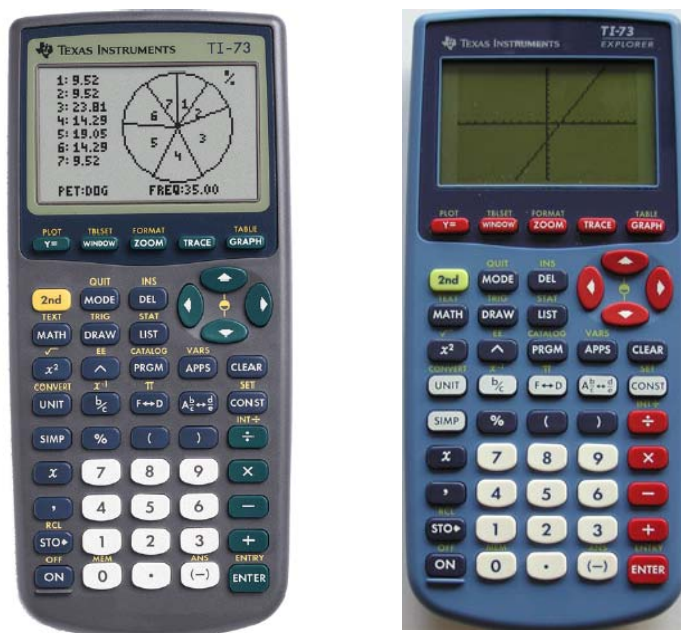
De rekenmachines lagen continu klaar voor in de klas. De leerlingen konden de machines gebruiken wanneer ze wilden en deden dat ook. In het onderzoek zijn vooral ervaringen bij de volgende onderwerpen gebruikt:

- Verbanden; tabellen, grafieken, formules.
- Omrekenen van eenheden.
- Verhoudingen.

Keuzes maken

Vanuit praktische overwegingen is gekozen om niet een gehele dekking van alle sectoren en leerwegen in het vmbo na te streven en in alle geledingen van het vmbo te onderzoeken wat de mogelijkheden van een grafische rekenmachine zijn. Gegeven de drie scholen en de docenten van deze scholen die bereid waren mee te doen in het onderzoek is het onderzoek beperkt gebleven tot de klassen waar deze docenten les in gaven.

Een andere keuze was ons te beperken tot één type grafische rekenmachine. Dit vergemakkelijkte het uitwisselen van ervaringen tussen de drie scholen en bovendien was Texas Instruments bereid het onderzoek te sponsoren waardoor er geen geld aan aanschaf van andere machines hoefde te worden uitgegeven. In het onderzoek zijn twee type grafische rekenmachines gebruikt: de TI-83 (Plus) en de TI-73. De TI-83 (plus) is de meest gebruikte grafische rekenmachine in de bovenbouw van havo en vwo en lag daarom voor de hand om in het onderzoek te betrekken. De TI-73 is een eenvoudiger variant van de TI-83, die is ontwikkeld voor de Amerikaanse middle school (leerlingen van 10 tot 14 jaar). Deze machine is in Nederland niet verkrijgbaar maar voor dit onderzoek hadden we de beschikking over 50 exemplaren die uit de Verenigde Staten werden opgestuurd. Op elke school waren ongeveer 15 machines beschikbaar. De machines werden in één klas tegelijk gebruikt waardoor gemiddeld de helft van het aantal leerlingen over een GR beschikte (zoals in Roosendaal) of leerlingen werkten samen met een GR (zoals in Utrecht). Het samen werken leverde geen problemen op.



*De TI-73 in twee uitvoeringen:
grijs (links) en met meer onderscheidende kleuren (rechts)*

Veel van de huidige modellen grafische rekenmachines (van alle merken) die in Nederland gebruikt worden, zijn ontworpen voor oudere leerlingen en voor ingewikkeldere wiskunde dan die van het vmbo. Met eenvoudigere machines zoals de TI-73 is in Nederland weinig of geen ervaring. De TI-73 heeft qua functionaliteit voldoende voor wat er in het vmbo aan de orde komt. De TI-83 (plus) kan meer, maar dat is in het vmbo niet nodig. Er is daarom gekozen om in het onderzoek vooral de TI-73 te gebruiken.

In het onderzoek hebben we ons niet laten beperken door praktische bezwaren van verkrijgbaarheid van de machine en de prijs.

Hoe antwoorden te vinden op de vragen?

Gegeven de randvoorwaarden, keuzes en beperkingen zoals hierboven beschreven, hebben we voor elk van drie deelonderzoeksvragen een aanpak gekozen om antwoorden te kunnen verkrijgen.

Onderzoeksvraag 1

Bij welke onderwerpen van de wiskundelessen binnen het vmbo is het gebruik van een grafische rekenmachine mogelijk en in hoeverre heeft het meerwaarde?

Om deze vraag te beantwoorden zijn interviews gehouden met wiskundedocenten van drie vmbo scholen (zowel de beroepsgerichte leerwegen met en zonder LWOO, als theoretische en gemengde leerweg) en zijn de methoden die op de drie scholen worden gebruikt, geanalyseerd op mogelijkheden om een grafische rekenmachine in te zetten.

Onderzoeksvraag 2

Hoe gaan leerlingen in het vmbo om met een grafische rekenmachine qua bediening en robuustheid, en zien leerlingen het nut in van een GR?

Om een antwoord op deze vraag te krijgen is geobserveerd in de lessen die door wiskundedocenten op de drie scholen zijn gegeven. Daarvoor zijn in overleg met docenten onderwerpen en onderwijsmaterialen geselecteerd waar de GR kon worden ingezet.

Tijdens de observaties lag de nadruk op het in kaart brengen van type gebruik van de GR: gebruiken de leerlingen een GR uit zichzelf, zien ze het nut er van in, neemt de GR (reken)drempels weg, kunnen leerlingen meer met een GR dan zonder?

In gesprekken met docenten na geobserveerde lessen is gereflecteerd om meer informatie op bovenstaande kwesties te kunnen verzamelen.

Onderzoeksvraag 3

Wat zijn de eigenschappen waaraan een GR moet voldoen wil hij in het vmbo gebruikt gaan worden (wat moet hij wel en niet kunnen)?

Er is een checklist gemaakt met functionaliteiten van een GR en welke daarvan bij de onderwerpen in het huidige wiskundeonderwijs op het vmbo gebruikt zouden kunnen worden. Ook zijn docenten en leerlingen in interviews gestimuleerd om vrijuit te denken over hoe een ideale GR voor het vmbo eruit zou moeten zien.

We hebben ons in het onderzoek beperkt tot de algemene centrale vraag en de drie deelvragen, maar al gaande het onderzoek kwamen er ook afgeleide vragen aan de orde: Wat is de meerwaarde ten opzichte van de huidige onderwijsmaterialen? Wat zijn de mogelijkheden met betrekking tot vakkenintegratie? Wat is de relatie met de methoden? Wat kunnen we zeggen over de rol van de docent en de relatie met de beroepsgerichte vakken? Wat zijn implicaties voor de kerndoelen en het examenprogramma? Aan het eind van dit onderzoeksverslag bij de conclusies komen we op een aantal van deze vragen terug, maar de nadruk ligt op de centrale onderzoeksvraag en de drie deelvragen.

Methoden van onderzoek

Zoals eerder gezegd, is dit onderzoek geen uitputtende analyse van de mogelijkheden van een grafische rekenmachine voor het gehele vmbo maar is de doelstelling exemplarische gegevens te verzamelen over het gebruik van de grafische rekenmachine uit de breedte van het vmbo en daarmee een beeld te schetsen van de mogelijkheden. Het onderzoek is exploratief en kwalitatief. Het is exploratief ontwikkelingsonderzoek waarbij de docenten een belangrijke rol vervulden.

Middels observaties van lessen en participerende observaties is een beeld gekregen van de praktijk. Op College de Klop is structureel gedurende enkele weken geobserveerd door een student-assistent en de onderzoeker en op de andere twee scholen zijn incidentele lessen geobserveerd door de student-assistent en de onderzoeker. Tijdens de observaties van de lessen stonden de drie deelvragen telkens centraal: Bij welke onderwerpen kan een GR ingezet worden? Hoe gaan leerlingen om met de GR? Wat zou een GR nog meer moeten kunnen? Ook in gesprekken met leerlingen en docenten werden deze vragen expliciet zo gesteld.

Er is een drietal bijeenkomsten in Utrecht op het Freudenthal Instituut georganiseerd voor alle betrokkenen: docenten van de drie scholen, medewerkers van Texas Instruments en onderzoekers van het Freudenthal Instituut. De bijeenkomsten waren bedoeld om ervaringen uit te wisselen en de onderzoeksexperimenten aan te scherpen. Naast de lesobservaties en bijeenkomsten zijn er interviews met leerlingen en met docenten gevoerd. Een van de gesprekken met een groep van vier leerlingen is vastgelegd op video en later geanalyseerd. Fragmenten van deze video-opname staan op de bijgeleverde cd-rom. Daar staan ook verslagen van de interviews en gesprekken met docenten en leerlingen en ook ene selectie van de lesverslagen.

Methode van verslaglegging en doelgroep

We hebben gekozen om een korte brochure te schrijven waarin we verslag doen van het onderzoek. In deze brochure hebben we voorbeelden opgenomen van fragmenten van lesverslagen en andere ervaringen. Op de cd-rom die we bij deze brochure leveren staan uitgebreidere voorbeelden en verslagen. In plaats van verslag te doen van een uitgebreide analyse van de verzamelde materialen en data, beperken we ons in de brochure tot samenvattingen en conclusies gebaseerd op de materialen en ervaringen. Op de cd-rom staat een selectie van de ruwe data en we moedigen de lezer aan deze te bekijken en wellicht zelf te gebruiken om op die manier een eigen beeld te krijgen van de mogelijkheden van de grafische rekenmachine in het vmbo.

Deze brochure is in eerste instantie bedoeld voor de opdrachtgever, en daarnaast voor geïnteresseerde docenten en opleiders, onderwijsontwikkelaars, onderwijsonderzoekers, beleidsmakers, politici en anderen die niet direct in het primaire proces van het onderwijs werkzaam zijn. Hoewel docenten en leerlingen natuurlijk het onderwijs maken, kunnen zij met de bevindingen uit dit onderzoek niet direct aan de gang in de klas, omdat grafische rekenmachines niet beschikbaar zijn in het vmbo.

We hopen door de toon, stijl en voorbeelden (met name op de cd-rom) een beeld van de mogelijkheden van een GR in het vmbo te schetsen en daarmee collega's minimaal te informeren maar hopelijk ook te inspireren.

3 Resultaten

Recepten en verhoudingstabellen

Bij het vak koken/serveren worden recepten gepresenteerd met hoeveelheden voor vier personen. Met behulp van verhoudingstabellen kunnen leerlingen de hoeveelheden aanpassen voor de gewenste aantallen eters. Leerlingen weten hoe ze een verhoudingstabel moeten gebruiken, maar het rekenwerk is soms zo lastig dat ze daar de fout mee ingaan.

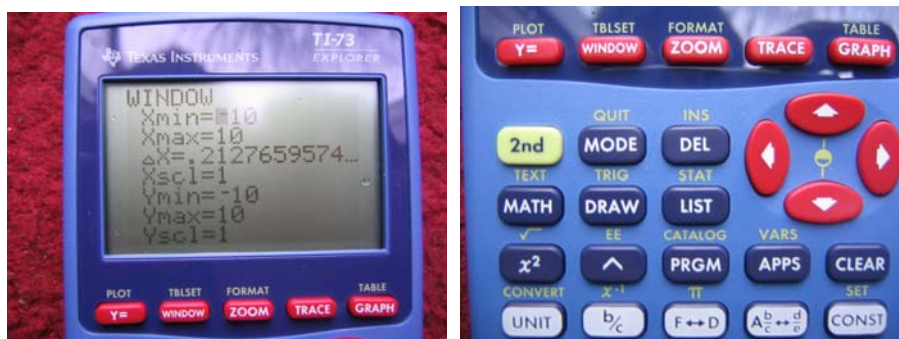
Met de FLASH-applicatie *verhoudingstabel* kunnen leerlingen nu snel de gewenste verhoudingen vinden zonder dat ze gehinderd worden door rekenwerk.

De resultaten van het onderzoek zijn per deelvraag samengevat. Op de cd-rom staan uitgebreidere lesverslagen, weerslagen van interviews en gesprekken (met leerlingen en docenten) waarvan onderstaande resultaten een selectie vormen. Voordat we echter ingaan op de onderzoeksvragen geven we een korte beschrijving van de TI-73, de grafische rekenmachine die in dit onderzoek vooral gebruikt is.

De TI-73, een “eenvoudige” grafische rekenmachine

De TI-73 is een grafische rekenmachine die ontwikkeld is voor leerlingen van 10 tot 14 jaar in de Amerikaanse Middle School. Zoals de meest grafische rekenmachines beschikt de TI-73 over dezelfde functionaliteiten als een “standaard” wetenschappelijke rekenmachine en meer. De TI-73 heeft een groter scherm waarop 8 tekstregels kunnen worden afgebeeld en waarop tabellen kunnen worden weergegeven en grafieken kunnen worden getekend.

Op de cd-rom staat een uitgebreide samenvatting van de mogelijkheden van de TI-73. We beperken ons hier tot een korte beschrijving van de opties die in het onderzoek zijn gebruikt.

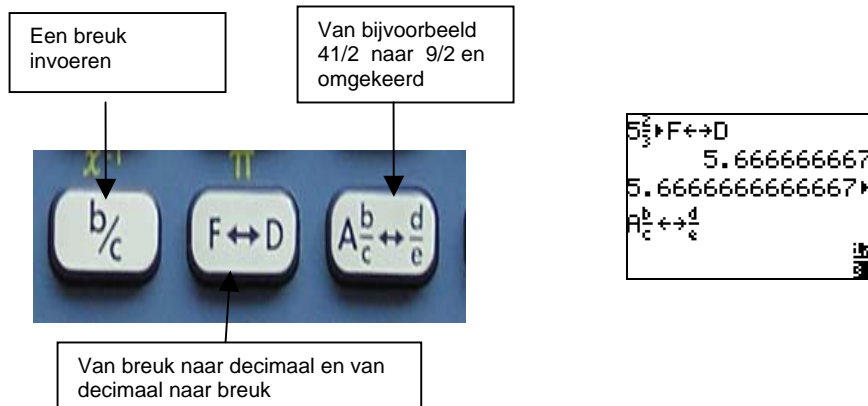


Het scherm van de TI-73 en de belangrijkste knoppen

Met de rode toetsen direct onder het scherm worden de belangrijkste tabel en grafiekfuncties bediend. Formules (functies) worden ingevoerd in de vorm 'Y= functie van X'. Van deze functies kunnen tabellen worden gemaakt (waarbij de stapgrootte van X kan worden ingesteld) en kunnen grafieken worden getekend. Er kunnen meerdere grafieken tegelijk worden getekend. Een belangrijke stap bij het tekenen van grafieken is het instellen van het kijkvenster (met de WINDOW-toets) waarbij domein en bereik moeten worden opgegeven (Xmin, Xmax, Ymin en Ymax). Er kan op getekende grafieken worden ingezoomd en met TRACE kun je over grafieken wandelen waarbij de x en y-waarden worden getoond.

Met de LIST-optie kunnen tabellen worden ingevoerd zonder functievoorschrift. De waarden uit deze tabellen (lijsten) kunnen middels de PLOT-opdracht worden getekend.

De TI-73 beschikt net als enkele andere "gewone" rekenmachines over specifieke knoppen voor breukrekenen.

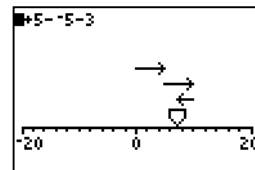


Een andere krachtige functie van de TI-73 is het omrekenen van eenheden en maten: lengte-eenheden, oppervlakte-eenheden, volume-eenheden, gewichten en massa, tijden, temperaturen en snelheden kunnen eenvoudig worden omgerekend. Zie het voorbeeld met schermafdrucken aan het begin van deze brochure.

Verder beschikt de TI-73 over statistische functies en kunnen ook statistische grafieken (waaronder cirkeldiagrammen, staafgrafieken, scatterplots en lijngrafieken) worden getekend.

Tot slot heeft de TI-73 een groot geheugen en programmeermogelijkheden. Naast de functies die onder de toetsen zitten of die met menu's zijn op te vragen, kunnen er ook - door anderen geprogrammeerde - programmaatjes worden gebruikt.

Deze programmaatjes heten op de TI apparaten FLASH applicaties, maar worden ook wel applets genoemd. Een voorbeeld van zo'n applet is NUMLINE (getallenlijn) waarmee bewerkingen met getallen op een getallenlijn worden afgebeeld.



Onderzoeksvraag 1

Bij welke onderwerpen van de wiskundelessen binnen het vmbo is het gebruik van een grafische rekenmachine mogelijk en in hoeverre heeft het meerwaarde?

Voor het beantwoorden van deze vraag is de grafische rekenmachine naast de examenprogramma's en de boeken die in het vmbo worden gebruikt gelegd en zijn alle mogelijke functionaliteiten van een grafische rekenmachine nagelopen op hun bruikbaarheid voor het wiskundeonderwijs in het vmbo. Dit heeft geresulteerd in een lijstje van wiskundeonderwerpen waarbij een grafische rekenmachine kan worden gebruikt. Omdat sommige van de functies van een grafische rekenmachine (GR) ook op een gewone (wetenschappelijke) rekenmachine (ZRM) zitten, hebben we dat hieronder aangegeven, zodat zichtbaarder wordt bij welke onderwerpen een GR bruikbaar kan zijn.

De GR (en ook de ZRM) kunnen bij onderstaande onderwerpen vooral worden ingezet als reken- en tekenhulp, maar afhankelijk van de docent en het onderwijsmateriaal (boeken of werkbladen) kan een GR ook ingezet worden bij de ontwikkeling van wiskundig inzicht en begrip. Op de cd-rom staan hier enkele voorbeelden van. Hieronder staan de onderwerpen per wiskundig domein geordend. De indeling in wiskundige domeinen is gebaseerd op indelingen die gebruikt worden door de methoden en door websites die lesmaterialen aanbieden (zie onder andere de digitale school en het WisWeb).

getallen, rekenen en schatten

- afronden (ZRM)
- procenten rekenen (ZRM)
- vergroten, verkleinen (groeifactor) (ZRM)
- rekenen met breuken (ook sommige ZRM)
- rekenen met kommagetallen (ZRM)
- breuken omzetten naar decimaal (sommige ZRM)
- schatten, orde van grootte van getallen kunnen inschatten (ZRM)
- getallen en bewerkingen (negatief, wortel, kwadraat, groot, klein) (ZRM)
- negatieve getallen (ZRM maar zonder grafische weergave)
- (hele) grote en (hele) kleine getallen, machtnotatie (ZRM)

maten en meten

- omrekenen van maten en eenheden
- schaal, ook in relatie tot verhoudingstabel, en ook met maateenheden

verbanden

- tekenen van grafieken bij een formule (functie)
- maken van tabellen bij een formule
- van tabel een grafiek maken
- formules bepalen bij grafiek (voor lineair verband)
- verbanden herkennen en weergeven met tabellen, formules en grafieken (diverse soorten verbanden: lineair, kwadratisch, hogere machten, wortel, omgekeerd evenredig)

- manipuleren met en omschrijven van representaties (tabel, grafiek, formule)
- manipuleren van formules en de effecten ervan bestuderen (vergelijken, aanpassen vanuit standaard)
- vergelijkingen oplossen (grafisch, formules vergelijken, inklemmen in de tabel, inzoomen in de grafiek)
- somformules maken, bijvoorbeeld $Y_3 = Y_1 + Y_2$,
verschilformules $Y_3 = Y_1 - Y_2$
- formules vergelijken, bijvoorbeeld $Y_1 = 5(X + 3)$ en $Y_2 = 5X + 3$

statistiek,

- gegevens invoeren en in tabellen weergeven (sommige ZRM)
- statistische maten berekenen (mediaan, modus, gemiddelde) (ZRM)
- grafieken tekenen (staafdiagram, cirkeldiagram, scatterplot)

overig

- goniometrie (sinus, helling, tangens), met name bij vmbo theoretisch

Uit bovenstaande opsomming valt op dat de meeste mogelijkheden voor de grafische rekenmachine liggen bij de onderwerpen verbanden en statistiek. Dit is niet zo verrassend; ook in de bovenbouw havo en vwo wordt bij deze onderwerpen de grafische rekenmachine ingezet. Dankzij het grote scherm van een GR kunnen grafieken en tabellen helder worden afgebeeld, maar ook eerder ingevoerde berekeningen en antwoorden kunnen terug bekeken worden, omdat de GR meerdere regels invoer en uitvoer op het scherm toont.

De GR kan bij de diverse wiskundige onderwerpen op verschillende manieren worden gebruikt. Vaak wordt de machine ingezet om het reken- en tekenwerk over te nemen, maar de GR kan ook ingezet worden bij de ontwikkeling van wiskundig inzicht en begrip. Een opgave die bijvoorbeeld mooi met de GR kan worden geëxploreerd is de volgende:

- Teken de grafieken voor de formules $Y = X + 1$, $Y = X + 2$, $Y = X + 3$
- > Wat zijn de verschillen tussen de grafieken? Leg uit.
- > Kun je voorspellen hoe de grafiek $Y = X - 4$ loopt?

Op deze manier kunnen leerlingen al ‘spelend’ met de GR algemeenheden over verschuiven van grafieken ontdekken. Een ander voorbeeld waarbij leerlingen onderzoekend gedrag aan de dag kunnen leggen is de volgende.

- > Teken de grafieken van $Y = X$ en $Y = 2X$ en $Y = X + 2$
- > Wat gebeurt er?
- > Voorspel hoe de grafiek van $Y = X + 4$ zal lopen en controleer dit.
- > Doe nog een paar voorspellingen en controleer dit ook.

Bij dit type opgaven is de GR meer dan een reken- of tekenhulp. Omdat de GR het reken- en tekenwerk uit handen neemt, kunnen de leerlingen zich concentreren op

algemenere wiskundige begrippen en inzichten. Op alle drie de scholen bleek dat het op deze manier inzetten van de GR het meeste uit te de leerlingen haalde, maar dat het wel veel moeite kostte om het onderwijs zo aan te passen dat de aandacht verschoof van het rekenen en tekenen naar de onderliggende wiskundige inzichten.

Samengevat kan de GR bij veel onderwerpen uit het huidige wiskundeprogramma worden ingezet. Behalve bij meetkunde is een GR bij alle domeinen in te zetten. Bij de onderwerpen “omrekenen” en “verbanden” is in het onderzoek veel ervaring opgedaan en informatie verzameld. Uit de lesobservaties, gesprekken en interviews met leerlingen en docenten is gebleken dat leerlingen in het bijzonder bij deze onderwerpen een steun hebben aan de GR en verder kunnen komen met het oplossen van problemen omdat de GR een deel van het lastige reken- en tekenwerk uit handen neemt. Zie hiervoor onder andere de verslagen van gesprekken met leerlingen en docenten en de videofragmenten die op de cd-rom te vinden zijn.

Onderzoeksvraag 2

Hoe gaan leerlingen in het vmbo om met een grafische rekenmachine qua bediening en robuustheid, en zien leerlingen het nut in van een GR?

Voordat leerlingen een grafische rekenmachine kunnen gebruiken, moeten ze weten wat er uitgerekend of getekend moet worden; wat de opdracht is. De opdrachten staan in het lesmateriaal dat in het onderzoek vaak het wiskundeboek was, aangevuld met werkbladen. De stap om de opdracht te vertalen in een wiskundige bewerking of uitdrukking is voor veel leerlingen niet zo makkelijk, maar de boeken helpen vaak een handje door veel van het werk voor de leerlingen voor te doen en de vertaalslag voor de leerlingen te maken. De leerlingen hoeven dan de wiskundige bewerking of opdracht te vertalen in procedures en commando's voor de grafische rekenmachine. Deze laatste stap bleek voor leerlingen veel minder lastig en problematisch dan door de onderzoekers en docenten van te voren ingeschat. Onderstaande voorbeelden illustreren dit.

De grafische rekenmachine die in het onderzoek werd gebruikt kent alleen X en Y als variabelen. Leerlingen moeten formules dus in termen van X en Y opschrijven. Tot de verbazing van de onderzoekers was dat voor leerlingen nauwelijks een probleem. Woordformules, expressies met afkortingen en letters anders dan x of y , werden door leerlingen zonder veel moeite vertaald naar een uitdrukking met x en y en vervolgens in de rekenmachine ingevoerd. Deze ervaring was niet incidenteel, maar kwam voor op elk van de drie scholen.

Een voorbeeld van een opgave in een vmbo wiskundeboek luidt:

- Klaas heeft 6 euro en belt elke dag voor 1 euro.
- Claire heeft een schuld van 3 euro en verdient elke dag 2 euro.
- > Na hoeveel dagen hebben ze evenveel euro?

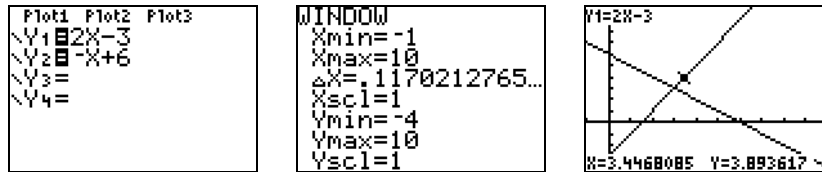
Vaak wordt het oplossen voorbereid door hulpteksten als:

Noem het bedrag dat Klaas heeft K en het aantal dagen D .
 > Schrijf een formule voor het bedrag dat Klaas heeft na K dagen.

Noem het bedrag dat Claire heeft C en het aantal dagen D .
 > Schrijf een formule voor het bedrag dat Claire heeft na K dagen

> Teken de grafieken voor C en K en zoek uit wanneer ze gelijk zijn.

Door dit voorwerk hoeft de leerling niet veel denkwerk zelf meer te verrichten. Het vertaalwerk naar de taal van de GR bleek echter geen probleem te zijn. De leerlingen konden zonder hulp bovenstaande informatie vertalen in GR taal:



Het lijkt wel of het voor leerlingen eenvoudiger is om met een nieuw apparaat – dat de grafische rekenmachine voor hen is – vertrouwd te raken dan voor docenten. Uit gesprekken met leerlingen (zie ook de cd-rom) en observaties van leerlingen die aan het werk zijn met de GR bleek dat de bediening voor leerlingen geen onoverkomelijke problemen oplevert. Leerlingen konden snel hun weg vinden op het apparaat; ze hadden snel door wat de knoppen op de GR doen en waar de commando's te vinden zijn die via menu's bereikbaar zijn. Er werd aan het begin een korte algemene introductie op het gebruik van de GR gegeven, zodat leerlingen het principe van de GR snapten, maar daarna durfden leerlingen snel zelf uit te zoeken wat er allemaal mogelijk was. Leerlingen moesten wennen aan het feit dat er geen = knop op de GR zit, maar dat een bewerking moet worden ingevoerd en daarna afgesloten moet worden met ENTER. Leerlingen zeiden dat ze de bediening lastig vonden, maar in de praktijk bedoelden ze eigenlijk dat de wiskunde lastig is. Het apparaat konden ze namelijk snel bedienen. Vooral het vertalen van de opgave naar een wiskundige handeling was lastig. De handeling (bewerking, iets tekenen of laten berekenen) konden ze vervolgens wel snel op de GR uitvoeren.

De bovenste 4 knoppen van de TI-73 behoeften niet veel introductie. Ook het instellen van een tabel koste niet veel moeite.

Het bleek dat het voor leerlingen helpt om een referentiekaart bij de hand te hebben waarop ze kunnen nazoeken hoe een bepaald commando gegeven kan worden, en wat de betekenis van de toetsen is. Voorbeelden van zo'n referentiekaart (als het ware een formulekaart voor het werken met de GR) zijn bijgevoegd op de cd-rom.

De taal van het boek is niet hetzelfde als die van de GR, en omdat de GR bij bestaande opgaven gebruikt wordt, was dat soms verwarrend (denk aan delta teken en het feit dat veel commando's en opdrachten en teksten op de knoppen in het Engels staan).

Een andere ervaring is dat leerlingen in de technisch georiënteerde sectoren (derde klas) eerder geneigd zijn de GR te gebruiken dan leerlingen in andere sectoren. Zo waren bijvoorbeeld leerlingen in het leerwerk-traject in de sector metaal snel vertrouwd geraakt met de GR. Bij navraag bleek dat deze leerlingen sowieso snel met computerprogramma's vertrouwd raakten (bijvoorbeeld met Excel).

Bij onderzoeksvraag 3 gaan we dieper in op de wensen van leerlingen met betrekking tot de mogelijkheden van een grafische rekenmachine en welke opties ze wel en niet belangrijk vinden.

Hoe gaan de leerlingen met de rekenmachine om?

Van de belangrijkste functies van de GR die in het onderzoek zijn gebruikt worden hieronder ervaringen met leerlingen samengevat.

min-toetsen

Een probleem in de bediening bleek het verschil tussen de rode – toets en de witte (-) toets. De rode toets is voor de verschilfunctie. De witte toets is om een negatief getal aan te geven of het teken te wisselen. Leerlingen bleven dit uiteindelijk toch af en toe fout doen. Het is misschien wenselijk dat sommige operaties niet mogen, zoals:

$$Y = 5 X \text{ [verkeerde min] } 3$$

Dat wordt geïnterpreteerd als:

$$Y = -15X$$

In situaties waarbij er geen ambiguïteit ontstaat, zou de rode mintoets gewoon als de witte moeten kunnen worden geïnterpreteerd.

tabel

Leerlingen begonnen zonder moeite met het invoeren van de tabel, maar omdat dat alleen met de LIST-optie mogelijk is, deden ze dat. Dat het L1, L2 in plaats van X en Y heet, maakte ze niet uit. Ook het navigeren van de ene kolom naar de andere ging makkelijk met de pijltoetsen.

List

Het lijkt dat het invoeren van een tabel om een grafiek te plotten ook meer georganiseerd zou moeten zijn bij de rode knoppen. Er kan verwarring ontstaan tussen de list functie en de tabel functie; met beide wordt een tabel gecreëerd, maar de tabel hoort bij een ingevoerde formule (X en Y), en list bij ingevoerde waarden en statistiek. Voor leerlingen (en ook voor docenten) is dit onderscheid niet vanzelfsprekend.

Delta-table, een waarde opzoeken

Dat je in het TBLSET-venster TblStart en delta-Tbl kunt instellen om een tabel naar wens te krijgen is voor leerlingen ingewikkeld. Leerlingen lijken allemaal wel te snappen wat delta-Tbl doet en hebben geen moeite met het invoeren ervan. Ze begrijpen

dat je als je nog nauwkeuriger wilt zijn delta-Tbl nog kleiner moet nemen. Maar dat je niet altijd exact de waarde van een snijpunt met behulp van de table-functie kunt bepalen lijken ze toch lastig te vinden. Ook bij het maken van een opgave wordt het dan lastig opschrijven; het antwoord ligt tussen 5.47 en 5.48. Leerlingen moeten even weten wat ze moeten doen.

Het is makkelijker als leerlingen altijd gewoon een X-waarde kunnen invoeren in het table-venster om de bijbehorende Y-waarde te krijgen. Dat kan nu alleen als 'ask' geselecteerd is in het tableset-menu. Anders moeten de leerlingen scrollen of weer naar een ander menu.

grafieken tekenen

Er zijn diverse aspecten aan het tekenen van een grafiek. Het is voor leerlingen geen probleem om een formule (functie) in te voeren. Het instellen van het window-scherm is een stuk moeilijker. Het resultaat van het veranderen van WINDOW waarden is ook niet zichtbaar, want er staan geen getallen bij de getekende grafiek. Als een grafiek een Ymin van +10 heeft, dan is dit niet duidelijk te zien. In het boek wordt een 'zaagtand' gebruikt.

Leerlingen kunnen wel op basis van Xmin en Xmax, de Ymin en Ymax berekenen, maar dit lijkt meer op een aangeleerd trucje, dan op iets dat ze begrijpen. Om zo iets te begrijpen zouden ze op een andere manier les moeten krijgen. Op het Da Vinci College in Roosendaal konden leerlingen (met lege grafieken waarin al de assen stonden op basis van een plaatje van een assensetel in het boek) wel goed het WINDOW-menu invoeren. Als leerlingen dat goed onder de knie hebben, kunnen ze pas goed interpreteren wat die grafiek in beeld betekent. Daarna kunnen ze verder gaan om te leren om te bedenken "wat wil ik in beeld hebben?".

Bij het tekenen van een grafiek is aan het begin de stapgrootte (Xscl, Yscl), daar zou ook een auto-stand misschien handig voor zijn.

Als de leerlingen een grafiek getekend hebben, dan is de vraag natuurlijk: wat betekent die grafiek? Eigenlijk kwamen we op College de Klop niet genoeg aan dat soort vragen toe, omdat er veel over de rekenmachine geleerd moest worden en doordat het hoofdstuk lang was en ook veel nieuwe en ingewikkelde wiskunde omvatte. Wat opviel is dat leerlingen veel sneller een y-waarde konden uitrekenen door deze in een tabel op te zoeken. Doordat ze nu snel waarden van een functie konden aflezen, konden ze zich meer richten op het probleem waar het om ging. Dit werd helaas tenietgedaan door de moeilijkheid van het instellen van het WINDOW.

Op het Da Vinci College in de LWOO klas 2D (zie ook de cd-rom voor leerlingenwerk en impressies uit deze klas) bleek dat leerlingen in meer of mindere mate zelf grafieken konden interpreteren die over verschillende soorten verbanden gingen: lineair, kwadratisch, wortel. Deze derde klas stof bleek zelfs haalbaar. Een verschil met de leerlingen op de Klop was dat deze leerlingen vertrouwder waren met de GR en niet tegelijk met de nieuwe wiskunde ook nieuwe bediening van de GR hoefden te leren

De doelstelling voor klas 2 (vmbo-t) op de Klop om leerlingen de grafiek op papier te laten tekenen die ze in beeld krijgen, was te ambitieus. De leerlingen zagen in het

GRAPH-venster niet exact wat ze moesten tekenen. Ze hadden niet veel oefening gehad om toch de grafiek in beeld te krijgen. Een probleem bij het overtrekken van grafieken was dat de schermgrootte altijd gelijk is en dat dit ervoor zorgt dat het soms onduidelijk wordt waar precies de grafiek rechts het venster uitloopt. Als je een grafiek op papier tekent, dan neem je daarvoor een waarde waardoor het makkelijk wordt de grafiek te tekenen. Paul Drijvers (1995) had soortgelijke ervaringen met leerlingen uit VWO 5 bij wiskunde B

Misschien moet het overnemen van een grafiek ook helemaal niet de doelstelling zijn. Als leerlingen de grafiek kunnen schetsen, dan kunnen ze bijvoorbeeld kritieke waarden bij deze grafiek vermelden. (waar snijdt deze de y-as? e.d.) en wat kritieke (of essentiële) waarden van een grafiek zijn, hangt bovendien af van de context.

Samengevat constateren we dat leerlingen niet veel moeite hadden bij de bediening en dat de GR hen een deel van het lastige reken- en tekenwerk uit handen nam. Bij de vier vmbo-t leerlingen uit de derde klas op College de Klop die aan de slag gingen met de breukenfuncties bleek dit ook. Zij gaven zelf aan dat ze met de GR sneller en met minder fouten konden werken en lieten ook zien dat ze moeilijkere problemen goed konden oplossen met behulp van de rekenmachine. Op de cd-rom staat hun relaas als videofragment.

Onderzoeksvraag 2 is nauw gerelateerd aan vraag 3. Bij het inventariseren van wensen en mogelijkheden voor een "ideale" GR voor het vmbo komen nog een aantal aspecten van leerling-gedrag met een GR aan de orde.

Onderzoeksvraag 3

Aan welke eigenschappen moet een GR voldoen wil hij in het vmbo gebruikt gaan worden (wat moet hij wel en niet kunnen)?

In gesprekken met leerlingen en met docenten is gevraagd waar een grafische rekenmachine aan zou moeten voldoen; welke mogelijkheden zou een GR moeten hebben die de moeite waard zijn. Hieronder hebben we de resultaten van deze gesprekken en interviews samengevat in lijstjes met wensen. Op de cd-rom staan uitgebreidere verslagen van deze interviews en gesprekken. Ook in het gefilmde gesprek met vier vmbo leerlingen uit klas 3 Theoretisch dat op de cd-rom staat kwamen de nodige wensen naar boven. In het lijstje worden zowel bestaande als (nog) niet bestaande mogelijkheden van de GR opgesomd.

het apparaat en zijn bediening

- een knop waarmee je de GR eenvoudig kunt resetten (er zijn nog te veel vastlopers waar leerlingen niet meer uitkomen)
- een undo (of terug) optie, zodat je makkelijker fouten kunt herstellen
- een Nederlandse interface (ook de teksten op de knoppen)
- groot scherm is belangrijk, in kleur en met grotere resolutie
- niet teveel overbodige functies en knoppen (hoewel de meeste leerlingen dit niet als vervelend beschouwen)
- mogelijkheden om andere apparatuur (meetapparatuur) aan te kunnen sluiten als wel om de machine direct op de computer aan te kunnen sluiten

functies en mogelijkheden van de GR

- mogelijkheden om beter te kunnen bewaren wat je aan het doen bent geweest
- als naslagwerk (formulekaart) voor diverse formules (bijvoorbeeld oppervlakte cirkel, inhoud, snelheden enz)
- als woordenboek
- oppervlakte en inhoud mee kunnen (om)rekenen
- meer Nederlandse maten en eenheden mee kunnen omrekenen (nu zitten er vooral veel Amerikaanse maten en eenheden in)
- makkelijker kunnen instellen van wat er getekend of berekend moet worden (in het bijzonder WINDOW en TABLESET)

over applets (programmaatjes voor oefenen en rekenen)

- graag applets die speciaal ook voor vmbo zijn gemaakt:
- een applet om te oefenen met omtrek/oppervlakte
- een applet vergelijkbaar met Aanzichten Raden (WisWeb)
- een applet over hoeken schatten (vergelijkbaar met het programmaatje Hoeken van Makko)
- een applet voor het oefenen met rekenen met negatieve getallen

overige wensen:

- kleiner en meer mogelijkheden, zoals een geïntegreerde MP3 speler en mobiele telefoon (vooral leerlingen zien dit wel zitten)
- meer spelletjes (wordt vooral door leerlingen genoemd)
- niet te duur, maar als hij ook andere dingen kan (muziek, spelletjes, telefoon) mag de GR wel wat kosten
- meer diversiteit in hoe de machine eruit ziet; kunnen customizen (andere frontjes, kleur of juist niet, ...)

Bovenstaande wensen geven aan dat leerlingen en docenten mogelijkheden zien voor een GR op het vmbo en geven ook aan op welke punten een GR voor het vmbo aangepast zou kunnen worden.

**Een ervaring in vmbo-t, klas 4, najaar 2004
bij het onderwerp “snijpunten bepalen met inklemmen”**

Een jongen zat tegen zijn buurman te vertellen (en ik hoorde dat en luisterde mee) dat hij een jaar geleden in vmbo-t, klas 4 met vijf leerlingen aan een experiment had meegedaan met een grafische rekenmachine en dat je inklemmen veel “gemakkelijker” met de GR kan bepalen.

Ik zei tegen hem “laat eens zien dan” en gaf hem mijn TI-83. Tot mijn stomme verbazing ging hij aan de slag (nadat hij even gevraagd had of hij dezelfde toetsen als op de TI-73 mocht gebruiken) en liet hij de GR de twee grafieken tekenen en met trace en inzoomen de snijpunten zo nauwkeurig mogelijk bepalen.

En deze leerling is eigenlijk qua inzicht een van de zwaksten!

Er was toch meer blijven hangen dan ik gedacht had.

Overige ervaringen

Op het IJssel College in Capelle aan de IJssel hadden de leerlingen continu de grafische rekenmachine tot hun beschikking. De GR's lagen voor in de klas en de leerlingen mochten ze pakken en gebruiken wanneer ze wilden. De leerlingen zagen al snel het gemak van de GR in. Een van de leerlingen was zo enthousiast geraakt dat hij even een GR had "geleend" om examen mee te doen. Helaas voor hem mocht dat niet, gelukkig voor de docent was de GR weer terug.

Illustratief voor de ervaringen van de leerlingen waren de reacties op de toets. In de tweede klas vmbo basisberoeps werd een periode van zes weken werken met de GR afgesloten met een toets. Het betrof een zwakke LWOO klas en de toets was een gewone vmbo toets bij het onderwerp formules en vergelijkingen. Vraag 2 was vervangen door "Wat vind je van de GR?".

De resultaten van de toets waren verbluffend goed. Geen onvoldoendes en bijna iedereen hoger dan een 8. Terwijl dezelfde toets normaal gesproken voornamelijk 6 gescoord wordt. Hieronder staan de reacties van de leerlingen op vraag 2, gevolgd door het cijfer tussen haakjes:

- Ik vind het wel makkelijk om met deze rekenmachine te werken (7).
- Ik vond deze rekenmachine een lastige rekenmachine maar wel handig want je kon de maten van het assenstelsel er op uit rekenen. Ik hoefde die tabel niet te gaan tekenen (6,5).
- Het rekenmachine is wel makkelijk om de grafieken te doen en de tabellen, maar wel moeilijk om mee te werken (10).
- Het is heel handig en makkelijk (9).
- Het is veel handiger met rekenen bijv. met assenstelsel enz. maar het is wel lastig moeilijk maar ik kan er wel uit komen (10).
- Ik vind deze gr heel handig (9).
- Ik vind het moeilijk om met deze GR om te gaan. maar ik vind het ook niet leuk om te doen. Ik vind de gr erg ingewikkeld (9).
- In het begin vind ik de gr wel moeilijk. maar nu gaat het wel. het is ook leuk om mee te werken. Maar sommige opdrachten zijn wel lastig (10)
- Ik vind de GR wel handig, maar veel rekenmachines waren heel erg licht, dan zag je het bijna niet (10).
- Ik vind de gr makkelijk en sneller en ik vind het wel goed en sneller gaan (10).
- Ik vind het best moeilijk om daar mee te werken.
- Ik vind de GR niet leuk, als je een foutje hebt gemaakt kan je niet eentje terug en dan gaat gelijk alles weg. Ik vind het te groot en snap er niet veel van (8,5).

Ook op College de Klop is een proefwerk afgenomen waarbij de leerlingen de GR mochten gebruiken. Hier betrof het hoofdstuk 11, Moderne Wiskunde, klas 3 vmbo-theoretisch, met het onderwerp "verbanden". De proefwerkresultaten en de ervaringen waren hier minder positief en vielen zelfs tegen. Op de cd-rom staan het proefwerk, observaties en reflecties op deze toets. Samengevat blijkt dat deze toets vooral slecht gemaakt lijkt te zijn omdat het onderwerp "verbanden" een lastig onderwerp is, en nu met de GR erbij werd het extra gecompliceerd omdat ook de GR en het gebruik daarvan moest worden geleerd.

Samengevat constateren we dat de GR de wiskunde voor de leerlingen leuker en makkelijker kan maken, maar dat je niet teveel nieuwe dingen tegelijk moet presenteren. Leerlingen en docenten zien wel mogelijkheden voor een GR in het vmbo, maar zouden graag een geïntegreerd apparaat hebben dat ook bij andere vakken en buiten school gebruikt kan worden.

4 Conclusies en aanbevelingen

Handig met de machine en de bediening

Leerlingen zijn gewend aan computerspelletjes, mobiele telefoons, gameboys, ... Van apparaatjes schrikken ze niet. Dat geldt ook voor een grafische rekenmachine. De hoeveelheid knoppen lijkt nogal groot, maar leerlingen durven gewoon te gaan experimenteren en uit te proberen wat de knoppen allemaal doen.

De experimenten in de diverse klassen hebben een bonte verzameling aan werkbladen, ervaringen, lesobservaties, gesprekken en interviews opgeleverd. Na analyse van al deze bronnen hebben we met de groep betrokken docenten conclusies geformuleerd waar we ons allemaal in kunnen vinden.

Voordat we de conclusies puntsgewijs op een rijtje zetten, volgen enkele persoonlijke reflecties van de docenten die in het onderzoek betrokken waren.

“Als ik de toets goed analyseer denk ik dat veel leerlingen in de afgelopen maanden zóveel informatie hebben gekregen dat ze door de bomen het bos niet meer hebben gezien. De ene les kregen ze info over het wiskundige aspect, de verbanden, de volgende weer over het verwerken ervan met de TI 73.

Wat ook zeker een rol heeft gespeeld is dat er nogal wat vakantiedagen tussen de verschillende lessen zaten. Er was vaak geen goede voortgang van de lessen. Steeds moest teveel herhaald worden en was kennis weggezakt.

Een laatste nadeel was dat ik geen huiswerk kon opgeven omdat er te weinig rekenmachines waren...een aspect wat bij een volgend experiment wel beter geregeld kan worden lijkt mij.”

“De grafische rekenmachine is in de onderbouw van de basis- en kaderberoeps gerichte leerweg al dan niet met leerwegondersteuning bruikbaar dan ik in eerste instantie had gedacht. Het liefst zou ik de machine inzetten om leerlingen te laten onderzoeken en ontdekken. Niet alleen wiskundige verbanden zoals bij de negatieve getallen in het eerste leerjaar of het verband tussen de richtingscoëfficiënt en de hellingshoek van de grafiek in het tweede jaar. Je kunt de GR in combinatie met randapparatuur ook gebruiken om te onderzoeken of de koelkast nog goed werkt, hoe de spanning op het stopcontact varieert of het verband tussen de temperatuur en het dag/nacht ritme. Aan dat laatste ben ik afgelopen jaar nog niet toegekomen maar gelukkig wacht in het wiskundelokaal een nieuwe lichter leerlingen.”

“Voor mij is de belangrijkste conclusie dat je de grafische rekenmachine wat meer in fasen zal moeten invoeren. Dit hoofdstuk waarin in 4 paragrafen 4 verschillende verbanden worden behandeld is voor de meeste leerlingen sowieso al een van de moeilijkste hoofdstukken. Samen met het invoeren van dit vreemde gereedschap is dit vermoedelijk een stapje te ver geweest voor een T2 klas [*tweede klas, theoretische*

leerweg]. Je zou je zelfs kunnen afvragen of het in een T2 klas wel wenselijk is met een grafische rekenmachine aan de slag te gaan.”

“Het belangrijkste dat ik geleerd heb is dat ik de leerlingen niet met de GR wil leren werken, maar dat ik ze de GR op een natuurlijke manier wil laten gebruiken. Ik heb gemerkt dat wanneer ik wil dat ze delen leren gebruiken het veel moeizamer gaat dan wanneer ik ze af en toe prikkel. Als ze er zelf om vragen zijn ze toch leerbaarder. Op deze manier gebruik ik de GR nu ook en dagelijks wordt erom gevraagd of laat ik iets aan een enkele leerling zien. Sommige kijken even en leggen hem dan weg, maar de meesten pakken hem toch op.

Vooraf applets blijven mij aantrekken, met name de applets waarmee je punten kunt scoren. De GR heeft voor mij toch een meerwaarde gekregen in de les, leerlingen kunnen er veel van leren, vervelende werkjes (assenstelsels tekenen) worden nu leuk en de stapgrootte wordt ook duidelijk. Mijns inziens moet elke docent er een paar in zijn klas hebben liggen.”

“De grafische rekenmachine heeft een aantal goede elementen zoals de navigatie door de menu's, maar ook een aantal haken en ogen (twee verschillende minknoppen en dat verdient expliciet aandacht).

Het lijkt erop dat de boeken grondig gewijzigd moeten worden om de grafische rekenmachine tot zijn recht te laten komen. De leerlingen kunnen maar een beperkt aantal functionaliteiten per keer leren, zodat ze geleidelijk met alle aspecten van de machine kunnen omgaan. Op de vraag of de rekenmachine een toegevoegde waarde heeft, hebben we geen eenduidig antwoord kunnen krijgen. De omrekenfuncties en de tabelfuncties lijken leerlingen tijd en moeite te besparen om hen aan andere problemen toe te laten komen. De grafiek-functionaliteiten zijn minder intuïtief, maar door goede lesmaterialen kan een leerling met het apparaat ook leren wat de betekenis van een grafiek is. Maar als een leerling dit niet geheel onder de knie heeft, dan is het belangrijk de lesstof zo aan te bieden dat de leerling niet in de vele mogelijkheden van de rekenmachine verstrikt raakt of dat de leerling wel wat op het scherm kan laten zien, maar niet weet wat het betekent.”

Conclusies op een rij

De ervaringen van anderhalf jaar werken met een grafische rekenmachine in verschillende klassen in het vmbo leiden tot een aantal conclusies die gedeeld worden door alle betrokkenen bij het kortlopend onderzoek. De conclusies zijn geformuleerd in zeven punten.

1. *Een antwoord op onderzoeksvraag 1*

Een grafische rekenmachine kan vooral goed ingezet worden bij de onderwerpen in het vmbo: rekenen, verbanden en statistiek. Een grafische rekenmachine kan als machine worden ingezet om het reken- en tekenwerk uit te voeren, maar met een grafische rekenmachine kan meer ruimte in de les ontstaan voor de betekenis van de op te lossen problemen en voor het ontwikkelen van inzicht in de wiskunde.

De machine neemt de leerlingen reken- en tekenwerk uit handen, waardoor

leerlingen niet blijven hangen en gefrustreerd raken vanwege ontoereikende beheersing van basisvaardigheden op reken en tekengebied.
Met een grafische rekenmachine verschuift de aandacht naar de betekenis van een tabel, grafiek, formule en ligt niet de meeste nadruk op het construeren en maken van de grafiek en tabel.

2. *Een antwoord op onderzoeksvraag 2*
Voor leerlingen vormt de bediening, taal en abstractie van de TI-73 geen probleem.
Leerlingen vinden het in het algemeen geen probleem dat de machine Engelse teksten bij de knoppen heeft en via het beeldscherm in het Engels communiceert. Ook al heeft de machine voor deze leerlingen veel overbodige toetsen en functies en is de bediening via menu's en commando's soms nogal gecompliceerd, leerlingen laten zich er nauwelijks door van de wijs brengen. De abstracte taal (bijvoorbeeld het moeten vertalen van variabelen naar x en y omdat de machine alleen x en y accepteert) blijkt voor leerlingen geen probleem op te leveren.
3. *Naar aanleiding van onderzoeksvraag 2; over leerlinggedrag*
Leerlingen kunnen meer.
Met behulp van een grafische rekenmachine kunnen leerlingen meer; bijvoorbeeld het omrekenen van maten en eenheden hoeft geen struikelblok meer te zijn, lastig reken en tekenwerk wordt door de machine uitgevoerd. Omdat de grafische rekenmachine lastig reken- en tekenwerk uit handen neemt, kunnen problemen, contexten en opdrachten authentiekter zijn; je kunt meer realiteit in de les halen omdat je minder gehinderd bent door lastige getallen en formules e.d.
Het werken met een grafische rekenmachine draagt bij aan meer zelfvertrouwen en een beter zelfbeeld. (dit is wel een vraag waar vervolgonderzoek naar gedaan kan worden).
4. *Naar aanleiding van onderzoeksvraag 2; over leerlinggedrag*
Leerlingen leggen onderzoekend en experimenterend gedrag aan de dag waar de docent niet aan gedacht had.
Je kunt aan andere wiskunde aandacht besteden, er is een verschuiving naar meer inzicht en betekenis (zie ook conclusies 1 en 3).
De grafische rekenmachine kan goed in onderzoekjes worden gebruikt; in het beroepsgericht onderwijs worden ingezet op een manier die wordt voorgestaan in de documenten over de nieuwe onderbouw.
5. *Een antwoord op onderzoeksvraag 3*
Het moet voor leerlingen duidelijk zijn wat de meerwaarde is van de machine. Als het geen nut heeft, zullen leerlingen de grafische rekenmachine snel links laten liggen. In het begin is het nog leuk en stoer om zo'n geavanceerd apparaat te hebben dat alleen leerlingen in de tweede fase havo en vwo hebben, maar de nieuwigheid gaat er snel vanaf en als er geen intrinsieke motivatie is, heeft een grafische rekenmachine geen meerwaarde.

Het is bovendien belangrijk om doordachte keuzes te maken over waar en hoe de grafische rekenmachine in te zetten. Idealiter is een grafische rekenmachine wel toegerust op vmbo leerlingen, dus zonder al te veel overbodige toeters en bellen.

6. *Naar aanleiding van onderzoeksvraag 3; over de machine*
De verschijningsvorm van een grafische rekenmachine biedt voordelen. Door het grote scherm kunnen leerlingen meer zien van wat ze doen en hebben gedaan. Zicht op het rekenproces draagt bij aan het inzicht. Sommige functies (omrekenen van eenheden, breuken – kommagetallen) hebben eigen knoppen waardoor het bedienen een stuk eenvoudiger wordt dan op een gewone rekenmachine.
7. *Over de invoering van een GR.*
De invoering van een grafische rekenmachine moet in kleine stapjes gebeuren. Als docent moet je niet te ambitieus zijn; je moet niet teveel – voor de leerlingen – nieuwe dingen tegelijk willen doen; bijvoorbeeld eerst vertrouwd raken met tabellen, en pas later gaan werken met grafieken.

Conclusies samengevat

De grafische rekenmachine biedt veel mogelijkheden voor gebruik bij het (wiskunde)onderwijs in het vmbo. Een machine als de in het onderzoek gebruikte TI-73 zou op een aantal punten moeten worden aangepast om beter te passen in het huidige vmbo

Als een GR in het vmbo ingevoerd zal gaan worden, dan moeten de huidige boeken en methoden grondig gewijzigd worden. De methoden en boeken moeten veranderen omdat we dankzij de GR aan andere wiskunde toekomen. De aandacht verschuift van het aanleren van reken- en tekenvaardigheden naar het oplossen van betekenisvolle (wiskundige) problemen.

De leerlingen kunnen maar een beperkt aantal nieuwe functionaliteiten per keer leren, zodat een invoering van de GR geleidelijk zal moeten gebeuren. De omrekenfuncties en de tabelfuncties zijn krachtig en lijken leerlingen tijd en moeite te besparen zodat ze aan het oplossen van andere problemen toe komen. De grafiek-functionaliteiten zijn minder intuïtief, maar door goede werkbladen en opgaven kan een leerling met het apparaat ook leren wat de betekenis van een grafiek is. In het bijzonder bij de onderwerpen verbanden en grafieken tekenen is het van belang dat de leerling niet in de vele mogelijkheden van de rekenmachine verstrikt raakt. Het is voor de leerling ook frustrerend als hij wel wat op het scherm kan laten zien, maar niet weet wat het betekent.

De grafische rekenmachine kan meerwaarde hebben, maar dan moet het onderwijs worden aangepast en vernieuwd. Vooral de boeken dienen zo te worden herschreven dat er meer aandacht komt voor de wiskundige inzichten en begrippen en de betekenis van de wiskundige formules, berekeningen en representaties. Het onderwijs kan meer zijn dan opgaven en oefeningen waarin wiskundige vaardigheden worden aangeleerd en geoefend.

Vooraf voor vmbo-leerlingen kan het heel nuttig zijn als ze tools als een GR tot hun beschikking hebben. Dat neemt ze teken en rekenwerk uit handen waardoor er meer tijd kan zijn voor werken aan begrip. Leren kan leuker worden of blijven (vervelend werk wordt door een apparaat overgenomen). Leerlingen durven meer (zo'n apparaat laat het makkelijker toe om fouten te maken), krijgen meer zelfvertrouwen, en komen aan onderwerpen (in de wiskunde) toe waar ze anders niet aan toe zouden komen.

Vragen voor vervolgonderzoek

Dit kortlopende onderzoek is kleinschalig. Op basis van de ervaringen hebben we conclusies kunnen formuleren die aangeven wat de mogelijkheden van een GR in het vmbo zijn, maar om beter gefundeerde uitspraken te kunnen doen, is een grootschaliger onderzoek gewenst. Het vmbo is breed en complex. Om voor alle leerwegen en sectoren uitspraken te kunnen doen over een GR, zou er ook in alle leerwegen onderzoek moeten plaats vinden.

Een vraag die we ons stellen is of de huidige generatie GR wel de meest geschikte tool is voor het vmbo. Een nog gebruikersvriendelijk apparaat met meer mogelijkheden en daardoor ook beter in andere vakken te gebruiken, zou wellicht meer geschikt zijn. Onderzoek naar de mogelijkheden van zo'n "toekomstig" apparaat waarin functies van de huidige PDA, memorystick, MP3-spelers en wellicht ook telefoon en camera zijn geïntegreerd lijkt ons van groot belang.

Ook al blijkt dat leerlingen het geen probleem vinden om met een apparaat met relatief veel overbodige functies en knoppen te werken, het lijkt ons zeer de moeite waard om te onderzoeken hoe een GR (of een andere toekomstig apparaat) is aan te passen aan de gebruiker zijn wensen.

De communicatiemogelijkheden van een tool als de GR zouden in vervolgonderzoek ook meegenomen moeten worden. Ook de mogelijkheden om wat op een GR wordt gedaan samen te voegen met wat op een computer wordt gedaan zou verder onderzocht moeten worden.

Kortom, vervolgonderzoek naar mogelijkheden van apparaten zoals de GR - en dan juist voor leerlingen in het vmbo - lijkt ons zeer gewenst.

Verwijzingen

- Bokhove, C. & Reeuwijk, M. van (2004). In plaats van erbij. *Nieuwe Wiskrant. Tijdschrift voor Nederlands Wiskundeonderwijs*, 23(3), Utrecht: Freudenthal Instituut, pp. 8-11.
- Doorman, L.M., M. Kindt en Drijvers, P.H.M. (1994). *De grafische rekenmachine in het wiskundeonderwijs*. Utrecht: Freudenthal Instituut, pp. 136.
- Drijvers, P. (1995). Neem de grafiek over *Nieuwe Wiskrant. Tijdschrift voor Nederlands Wiskundeonderwijs*, 14(4), pp. 29-35.
- Jongeling, R (in druk) De GR in de onderbouw basis- en kaderberoepsgerichte leerweg. Artikel te verschijnen in *Euclides*.
- Jongeling, R (2005) *Experimenten met grafische rekenmachine*, presentatie en werkgroep op de Reehorst conferentie, januari 2005.

- Kindt, M. (1992). Functieonderzoek begint met de grafiek I. *Euclides*, vol 67(7), pp. 200-204.
- Kindt, M. (1992). Functieonderzoek begint met de grafiek II. *Euclides*, vol 67(8), pp. 227-230.
- Reeuwijk, M. van (1990). De Graphic Calculator. *Nieuwe Wiskrant. Tijdschrift voor Nederlands Wiskundeonderwijs*, vol 9(2), pp. 10-11.
- T3, nascholingscursussen met de grafische rekenmachine, verzorgd door APS-wiskunde
- Wijk, P. van en P. van Vucht (2004), *Experimenten met grafische rekenmachine*, presentatie en werkgroep op de jaardag van de Nederlandse Vereniging van Wiskundeleraren, 6 november 2004.

Bijlage inhoud cd-rom

Op de bijgeleverde cd-rom staan diverse documenten, bestanden, foto's en video-fragmenten die in het kader van het onderzoek zijn geschreven, verzameld en op andere wijzen zijn geproduceerd.

Op de lesmaterialen na, is het uitdrukkelijk **NIET** toegestaan de documenten (waaronder lesverslagen, notities, foto's en videofragmenten) zonder toestemming van de auteurs te gebruiken.

De cd-rom bestaat uit vier delen:

- Een korte samenvatting van het onderzoek (in word) en de tekst van deze brochure (in pdf)
- Lesmaterialen: werkbladen, werkwijzers, werkkaarten, proefwerken (vooral Word-documenten)
- Diverse overige documenten: verslagen van interviews en gesprekken met leerlingen en docenten, notities, observatieverslagen, (vooral ook Word-documenten)
- Foto's en videofragmenten