

Het gebruik van de grafische rekenmachine tijdens samenwerkend leren in het middelbaar beroepsonderwijs

Dirk J. Hoek
Faculteit Psychologie, Open Universiteit Nederland

Gerard Seegers
Sectie onderwijsstudies, Universiteit Leiden

Samenvatting

Op een aantal scholen voor middelbaar beroepsonderwijs is een nieuwe wiskundemethode ingevoerd. Karakteristiek voor deze methode is dat er gebruik wordt gemaakt van betekenisvolle problemen waarbij het gebruik van de grafische rekenmachine is geïntegreerd. Bij deze methode hebben wij een docenteninstructie ontwikkeld die tot doel had de docenten te bewegen een meer coachende rol aan te nemen. Dit artikel beschrijft de invloed van het resulterende docergedrag op het gebruik van de grafische rekenmachine tijdens het samenwerkend leren. Gedurende een schooljaar zijn klassikale en groepsdiscussies tussen leerlingen met behulp van video-opnamen vastgelegd. De observaties en videoregistraties werden gebruikt voor het ontwikkelen en aanpassen van de instructieactiviteiten van de docenten. De video-opnamen werden uitgeschreven en gebruikt voor het analyseren van docent-student en student-student interacties. Uit de analyses blijkt dat gedurende het samenwerkend leren de GR in toenemende mate werd gebruikt als hulpmiddel tijdens de discussies.

1. Inleiding

In het middelbaar technisch onderwijs is op een aantal regionale opleidingscentra (ROC's), bij de afdeling techniek een nieuwe wiskundemethode ingevoerd (TWIN, Goris & Van der Kooij, 1997-2000). Een belangrijk kenmerk van deze methode is dat studenten aan meer open problemen werken waarbij ze de Grafische Rekenmachine (GR) gebruiken. Invoering van deze nieuwe methode is in een aantal gevallen gecombineerd met een didactische aanpak waarin het aandeel van klassikale instructie is beperkt ten gunste van het samenwerken in kleine groepen.

Op het eerste gezicht is het gebruik van de GR in een coöperatieve leeromgeving niet voor de hand liggend. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat het gebruik van de GR niet bevorderlijk is voor groepsinteracties (Doerr & Zangor, 2000). Vanuit didactische overwegingen zijn de ontwerpers van TWIN echter van mening dat het nodig is dat studenten de GR gebruiken, omdat hun algebraïsche kennis en vaardigheden vaak niet toereikend zijn voor de problemen die ze voorgelegd krijgen. Tevens vinden de ontwerpers het belangrijk dat studenten met elkaar samenwerken om wiskundige problemen op te lossen. Door met elkaar te overleggen wordt er een situatie gecreëerd waarin zij elkaar kunnen helpen bij het leren van wiskundige concepten en het oplossen van wiskundige problemen.

Wil de GR effectief worden ingezet, dan is het belangrijk dat studenten deze tool leren gebruiken bij het discussiëren over wiskundige problemen als

middel om wiskundig inzicht te verdiepen. In het hier beschreven onderzoek zijn in samenwerking met een aantal docenten stapsgewijs instructieactiviteiten ontwikkeld voor het (effectief) gebruik van de GR tijdens samenwerkend leren.

2. Instructie van wiskunde

In het wiskundeonderwijs heeft er een geleidelijke verandering plaatsgevonden van 'instructie' naar 'constructie'. In het traditionele wiskundeonderwijs lag de nadruk op het goed toepassen van definities, procedures en principes. Deze benadering is gebaseerd op het informatie-transmissie model: kennis kan worden overgedragen in een gestructureerd en stuurbaar proces (cf. Greeno, 1991; Romberg & Carpenter, 1986).

Het informatie-transmissie model is in toenemende mate onder druk komen te staan doordat onderzoek liet zien dat overdracht van kennis aan beperkingen onderhevig is. Vaak bouwden studenten kennis op die onvolledig was, gebaseerd was op onjuiste aannames en een versimpelde voorstelling ('misconcepties'), en sterk gebonden aan specifieke probleemttypen waardoor uitbreiding van kennis en transfer naar nieuwe problemen en vakken werd bemoeilijkt ('lack of transfer') (De Corte, Verschaffel & Greer, 1996). Hierdoor groeide het besef dat het 'overdrachtsmodel' slechts in beperkte mate in staat was om betekenisvolle kennis en inzicht te realiseren.

Om aan deze beperkingen tegemoet te komen werden alternatieve benaderingen ontwikkeld. Een belangrijke stimulans vormden socio-constructivistische en socio-culturele visies op leren. In deze benaderingen wordt er de nadruk op gelegd dat kennis niet wordt overgedragen, maar wordt geconstrueerd in een proces van sociale interacties (Bransford, Brown & Cocking, 1999; Greeno, Collins, & Resnick, 1996). Leren wordt gezien als kennisopbouw die is gebaseerd op betekenisgeving binnen een (leer)context (Rogoff & Toma 1997; Wertsch, Hagström, & Kikas, 1995). Voor de betekenisgeving is deelname aan interacties, waarin verschillende gezichtpunten worden beargumenteerd voor het kiezen van een oplossing, cruciaal.

Realistisch wiskundeonderwijs is een domein-specifieke instructietheorie die past bij deze benaderingen (Treffers, 1987; De Lange, 1987; Streefland, 1991; Gravemeijer, 1994; Van den Heuvel-Panhuizen, 1996). De wortels van realistisch wiskundeonderwijs liggen aan het begin van de jaren zeventig van de vorige eeuw. De theorie is gebaseerd op Freudenthal's (1991) idee dat wiskunde in verbinding moet staan met de werkelijkheid; dicht bij de studenten moet staan; en relevant moet zijn voor de samenleving. Studenten ontwikkelen wiskundeconcepten en leren die toe te passen door probleemsituaties uit het dagelijks leven op te lossen. Hierbij worden studenten gezien als actieve deelnemers in de sociale context van de klas. Oplossingen zullen aanvankelijk beperkt zijn, gebaseerd op intuïtieve inzichten, maar gaandeweg ontwikkelen studenten meer abstracte en formele middelen ('mathematiseren').

Er zijn twee manieren van mathematiseren in het onderwijs: 'horizontaal' en 'verticaal'. Horizontale mathematisering betekent dat wiskundige gereedschappen naar voren komen en worden gebruikt om een probleem uit het dagelijks leven op te lossen (Van den Heuvel-Panhuizen, 2003). Verticale mathematisering staat voor re-organisaties en operaties die door de studenten zelf in het wiskundige systeem worden uitgevoerd.

Begeleid door hun docent en in samenwerking met medestudenten kan op deze manier wiskundekennis worden geconstrueerd. Freudenthal spreekt hierbij over 'guided reinvention'.

Het type problemen waaraan studenten werken vormt een belangrijk element in de leeromgeving. In lijn met de socio-constructivistische benaderingen is het belangrijk om problemen aan te bieden met een breed scala aan oplossingsmogelijkheden en -strategieën. Dit biedt studenten de gelegenheid om oplossingen te vergelijken en nodigt hen uit tot discussie hierover. Op deze manier biedt samenwerken studenten de mogelijkheid wiskundige kennis en vaardigheden op te bouwen door uitleggen, toelichten en proberen betekenis te verlenen aan concepten en procedures (Lemke, 1997).

3. De grafische rekenmachine

De GR is een hulpmiddel dat snel aan populariteit wint. Onderzoek naar de rol van de GR in het onderwijs is gericht op het effect van dit apparaat op de leerprestaties en de motivatie van gebruikers (Ellington, 2003). Veel onderzoek is echter experimenteel van opzet en is vooral gericht op het toetsen van leereffecten en laat niet zien hoe instructie van invloed is op het gebruik van de GR (Dunham & Dick, 1994; Penglase & Arnold, 1996). Een aantal onderzoekers stelt daarom dat onderzoek zich meer moet richten op de wijze waarop instructie van invloed is op het gebruik van de GR in het leerproces (Berger, 1999; Ruthven, 1996).

Volgens Ruthven (1992) kan een IT hulpmiddel ('tool') het denken van studenten, en daardoor de opbouw van kennis, beïnvloeden. Uit haar analyse bleek onder andere dat het gebruik van de GR de communicatie in kleine groepjes negatief beïnvloedde: als studenten de GR gebruikten deden ze dat om voor zichzelf iets uit te rekenen, maar niet om een probleem samen te onderzoeken. Doerr en Zangor (2000) concludeerden dan ook dat wanneer docenten volstonden met introductie van de tool, inzet van de GR vaak een blokkerend effect had op samenwerking tussen studenten.

Daarnaast verandert het gebruik van de IT tool naarmate kennis en inzichten van de gebruiker in het toepassen hiervan toenemen. Hiebert en anderen (1996) stellen dat studenten betekenis voor een tool ontwikkelen tijdens het gebruik ervan en dat zij tegelijkertijd wiskundige kennis construeren door deze te gebruiken. Met andere woorden, studenten leren wiskunde doordat ze werken met de tool, terwijl de manier waarop deze wordt gebruikt verandert door een grotere wiskundekennis.

4. Doel van het onderzoek

In deze studie gaan we er van uit dat de GR de potentie heeft studenten te helpen bij het actief ontwikkelen (construeren) van wiskundekennis bij samenwerkend leren. Voorwaarde is wel dat de GR op een onderzoeksgerichte ('exploratory') wijze wordt ingezet. Hierbij moet worden bedacht dat de GR in zijn eenvoudigste vorm gebruikt kan worden als niet meer dan een geavanceerde rekenmachine. Maar in een omgeving waar studenten meer actief en creatief zijn betrokken kan de GR worden ingezet om nieuwe toepassingen te ontwikkelen, mogelijkheden te onderzoeken, en complexe verschijnselen te verhelderen. Dit vereist inzicht in hoe de GR als onderzoekstool in een probleemoplossend proces kan worden ingezet.

Bij het opzetten van dit onderzoek zijn de bevindingen van Doerr en Zangor (2000) als uitgangspunt genomen. In hun onderzoek analyseerden ze hoe studenten de GR gebruikten bij het werken in kleine groepjes aan wiskundeopgaven. De resultaten lieten zien dat verschillende elementen in de leeromgeving, zoals kenmerken van de taak, de rol en kennis van de docent, en het didactisch contract dat ten grondslag lag aan de manier waarop docent en studenten elkaars rol en verantwoordelijkheden zagen, invloed hadden op het gebruik van de GR door de studenten. Uit hun analyse bleek onder andere dat het gebruik van de GR de communicatie in kleine groepjes negatief beïnvloedde: als studenten de GR gebruikten deden ze dat om voor zichzelf iets uit te rekenen, maar niet om een probleem samen te onderzoeken. Doerr en Zangor (2000) concludeerden dan ook dat wanneer docenten volstonden met introductie van de tool, inzet van de GR vaak een blokkerend effect had op samenwerking tussen studenten.

In het jaar voorafgaand aan het hier beschreven onderzoek zijn wiskundelessen bijgewoond in enkele klassen van ROC's, afdeling techniek, waar studenten een GR (TI-83) gebruikten tijdens het werken in kleine groepjes. De observaties bevestigden de resultaten van Doerr en Zangor (2000). Wanneer docenten niet gericht waren op het stimuleren van een effectief gebruik van de GR, gebruikten studenten deze individueel tijdens het groepswork, met als gevolg dat interacties tussen studenten werden geblokkeerd. Bovendien gebruikten zij de GR vooral als geavanceerde rekenmachine, en niet als hulpmiddel om te onderzoeken.

Op basis van deze observaties en gesprekken met docenten zijn ideeën ontwikkeld om studenten de GR effectiever te laten gebruiken. Deze effectiviteit heeft twee aspecten: (i) integratie van de GR in het proces van samenwerkend leren, en (ii) integratie in het proces van probleemoplossen. Met andere woorden, de ontwikkelde ideeën zijn erop gericht dat op het niveau van samenwerken de GR niet langer een blokkerende, maar juist een stimulerende factor is, en dat deze op het niveau van probleemoplossen niet (alleen) wordt gebruikt om te rekenen, maar ook als hulpmiddel om te onderzoeken. Doel van het onderzoek is daarmee het verbeteren van samenwerkend probleemoplossen met behulp van de GR. In dit artikel beperken we ons tot de rol die de GR hierbij kan spelen.

We willen een antwoord geven op de volgende onderzoeksvraag: Hoe ontwikkelt zich gedurende een schooljaar de manier waarop studenten met elkaar samenwerken bij het oplossen van open wiskundeproblemen wanneer instructie door docenten gericht is op het exploratief gebruik van de grafische rekenmachine?

5. Methode

Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag is een ontwerpstudie opgezet (Cobb e.a., 2003; Cobb, Stephan, McClain & Gravemeijer, 2001). Ontwerpstudies hebben als doel de leerecologie te begrijpen (Cobb e.a., 2003). De term 'leerecologie' wordt door Cobb e.a. gebruikt om te benadrukken dat leeromgevingen moeten worden opgevat als interacterende systemen, en niet als een verzameling activiteiten of als een lijst van factoren. Een leerecologie bevat elementen, zoals docent en instructie, taken en problemen, manieren van overleg, 'normen' voor deelname aan discussies, tools

Jacob heeft een fietscomputer gekocht. Om de afstand te meten die hij heeft afgelegd is door hem de diameter van de band toen deze op volle sterkte was. Nu maakt Jacob een tocht van 10 km met een halfzachte voorband.

- a. Zal zijn fietscomputer meer of juist minder dan 10 km aangeven?
- b. Maak een schatting van het verschil tussen de afstand die de fietscomputer toont en de werkelijk gereden afstand.

Figuur 1: voorbeeld van een opgave uit de methode (Goris & Vander Kooij, 1997-2000).

die worden aangeboden of gebruikt en hoe docenten klassikale discussies begeleiden.

In dit onderzoek zijn twee niveaus van belang. Op het eerste niveau is in samenwerking met de deelnemende docenten een geleidelijke aanpassing van instructiegedrag ontwikkeld en geïmplementeerd. De implementatie verliep in een cyclisch proces waarbij in elke fase de ingevoerde aanpassingen werden geëvalueerd. Deze evaluatie vormde de basis voor aanpassingen in een volgende cyclus. Op het tweede niveau is bestudeerd hoe veranderingen in instructieactiviteiten samengingen met veranderingen in hoe studenten in kleine groepen samenwerkten. Om deze samenwerking te analyseren is uitgegaan van de verbale interacties tussen studenten.

6. Onderzoeksetting

Het onderzoek werd uitgevoerd op enkele Regionale OpleidingsCentra (ROC's) waar de wiskundemethode TWIN (Goris & Van der Kooij, 1997-2000) is geïmplementeerd. Het uitgangspunt van deze methode kan worden samengevat in drie elementen: (1) het gebruik van betekenisvolle problemen, (2) het stimuleren van reflectie, en (3) het gebruik van de GR als hulpmiddel bij probleemoplossen. In figuur 1 is een voorbeeld uit de methode zien.

Tijdens deze ontwerpstudie werkten studenten aan hoofdstukken die gaan over wiskundige verbanden (lineaire functies: $y = ax + b$, machtsverbanden: $y = a \cdot x^n$ en exponentiële functies $y = a \cdot n^x$). Voorafgaand aan het experiment was afgesproken dat studenten terwijl ze aan deze hoofdstukken werkten, in de eerste fase zouden worden geïnstrueerd in het bedienen van het apparaat voor het invoeren van tabellen, het tekenen van grafieken, het laten uitrekenen van een formule die bij data in een tabel hoort en het invoeren van formules om grafieken te tekenen. Afgesproken was dat deze instructie parallel aan de inhoud van de stof zou worden gegeven. Vervolgens zouden de docenten klassikale discussies organiseren waarin een onderzoeksgericht gebruik van de GR tijdens het oplossen van wiskundige problemen gemodelleerd zou worden.

De deelnemende docenten hadden gemiddeld twintig jaar ervaring in het onderwijs en twee jaar ervaring in het gebruik van de GR. Ze hadden echter weinig ervaring met een onderzoeksgericht gebruik van de GR. In de klaslokalen stond een overheadprojector waarmee het scherm van de GR kon worden geprojecteerd. Een beperking van deze projectievorm is dat alleen het scherm zichtbaar is voor het publiek en niet welke toets ingedrukt worden.

7. Steekproef

Aan het onderzoek hebben twee klassen van het MBO meegedaan met in totaal 32 jongen en 13 meisjes uit de sector techniek in de leeftijd van 16 tot

18 jaar. In elke klas zijn van één groepje gedurende het hele schooljaar minstens één keer per week video-opnamen gemaakt.

8. Procedure

In de bezochte klassen zijn video-opnamen gemaakt van de volgende situaties: klassikale instructies, klassikale discussies en situaties waarin studenten in kleine groepen werkten. Daarnaast zijn aantekeningen gemaakt van het docenten- en studentengedrag. Op basis van deze gegevens zijn na de les steeds besprekingen met de docenten gevoerd, met als uitkomst dat er nieuwe afspraken gemaakt werden over de te volgen aanpak. Op deze wijze zijn in een cyclisch proces geleidelijke veranderingen in instructiegedrag doorgevoerd.

Om te onderzoeken hoe het gebruik van de GR bij het probleemoplossen in kleine groepen veranderde zijn de verbale interacties tussen studenten geanalyseerd. Daartoe zijn in elke klas van eenzelfde groep op geregelde tijdstippen video-opnamen gemaakt. Deze registraties zijn gebruikt voor het maken van protocollen waarin deze interacties werden uitgeschreven. De protocollen en de gemaakte aantekeningen zijn gebruikt om vast te stellen of, en hoe, veranderingen in instructiegedrag samenhangen met veranderingen in de manier waarop studenten gebruikmaken van de GR bij het oplossen van problemen.

Bij de analyse is gebruik gemaakt van een herzien en uitgebreid schema voor analyse van verbale interacties, zoals is voorgesteld door Mercer en collega's (Mercer, 1996; Wegerif, Mercer, & Dawes, 1999). Daarnaast is vastgesteld hoe het docentengedrag in de loop van het schooljaar veranderde. Gaandeweg ontstonden interactiepatronen die in het begin van het jaar vaker voorkwamen dan aan het einde van het schooljaar.

9. De interventie

Op basis van eerder uitgevoerde observaties en van gesprekken met docenten zijn ideeën ontwikkeld om studenten de GR effectiever te laten gebruiken. Deze effectiviteit heeft twee aspecten: integratie van de GR in het proces van samenwerkend leren en integratie in het proces van probleemoplossen. Uitgangspunt hierbij is dat het mogelijk is deze doelen te realiseren door veranderingen in het instructiegedrag. Daarom is een onderwijsaanpak door en met de docenten ontwikkeld.

Voorafgaand aan de ontwikkeling van concrete instructieactiviteiten is een globaal plan opgesteld. Om studenten te leren de mogelijkheden van de GR te benutten is in eerste instantie instructie nodig over de werking van de GR. Maar dit alleen is niet voldoende. Zodra studenten voldoende vaardigheid hebben ontwikkeld, moeten ze leren de output die de GR geeft te interpreteren (Doorman, Drijvers & Kindt, 1994; Drijvers & Doorman, 1996). Bij dit interpreteren moeten ze de verschillende symbolische representaties begrijpen en de accuraatheid van de output kunnen beoordelen (Smith, 1999). Met behulp van klassikale instructie worden de studenten wegwijs gemaakt. Zo wordt er instructie gegeven hoe bijvoorbeeld een grafiek getekend kan worden als dat in de methode aan de orde komt. Kortom: de 'knoppeninstructie' loopt parallel aan de stof. Gaandeweg wordt deze instructie minder, omdat de studenten vaardiger worden in het gebruik van de GR. Na de adequate beheersing van het apparaat (de bediening) richt de instructie zich steeds meer op het ontwik-

kelen van vaardigheden om de GR efficiënt in te zetten bij specifieke taken. In deze fase ontwikkelen studenten met name vaardigheden om de GR te gebruiken als instrument om te onderzoeken. Door middel van klassikale discussies, waarbij de docenten voornamelijk een coachende rol hebben wordt het onderzoekend gebruik van de GR 'gemodelleerd'. Daarbij ligt de nadruk op hoe iets onderzocht kan worden met de GR, hoe de studenten aan elkaar vertellen/uitleggen wat ze gedaan hebben (tonen, uitleggen en rechtvaardigen, zie Dekker & Elshout-Mohr, 1998 en 2004). Er wordt dus veel aandacht besteed aan het onderzoeks- en/of probleemoplossingsproces dat plaatsvindt tijdens klassikaal werken.

Daarnaast was er aandacht voor het begeleiden van groepswork door de docenten. Afgesproken was dat ze zouden proberen om geleidelijk aan minder vakinhoudelijke directe feedback te geven en meer procesgerichte feedback. Zo ontstaat binnen de instructie een combinatie van klassikale activiteiten en samenwerkend leren in kleine groepen. Deze combinatie kan goede resultaten geven als het georganiseerd wordt door de docent. Zo vonden Howe, Duchak-Tanner & Tolmie (2000) dat studenten het meest profiteren als er een combinatie is van begeleiding door de docent en samenwerkend leren.

Klassikale activiteiten vormen het beginpunt van de instructie. Hierbij verschuift het zwaartepunt in de instructie van klassikale instructie naar discussie. Tijdens klassikale discussies wordt het gebruik van de GR geïntegreerd in de bredere context van probleemoplossen. Hierbij is voor de docent een modellerende rol weggelegd waarin hij laat zien op welke manieren de GR kan worden gebruikt.

Om dit alles te realiseren was één van de onderzoekers tenminste één keer per week aanwezig bij een wiskundeles van elk van de deelnemende docenten. Tijdens deze les werden video-opnamen gemaakt en noteerde de onderzoeker wat hem opviel. Op basis hiervan werd met de docent besproken welke instructieactiviteiten (of aanpassingen hiervan) in een volgende les gebruikt zouden worden. Er was dus sprake van een cyclisch proces waarbij observaties leidden tot interpretatie van het handelen van de docenten. Als docenten ermee instemden dat dit handelen niet effectief was, werd een andere of aangepaste instructie gepland in de verwachting dat hierdoor gewenste doelen wel bereikt konden worden.

In een eerste cyclus is geobserveerd dat wanneer studenten in kleine groepen werkten er nauwelijks sprake was van samenwerking. Het handelen van de docenten stimuleerde dit ook niet. Dit handelen kon worden geïnterpreteerd in termen van een behoefte om te reageren op vragen van individuele studenten, en om individu-gerichte inhoudelijke feedback te geven. In reactie daarop werd met de docenten afgesproken dat vragen van individuele studenten niet rechtstreeks zouden worden beantwoord, maar dat de groep gevraagd zou worden om na te denken over een antwoord.

Observaties na deze aanpassing lieten zien dat docenten dit moeilijk vonden. Deze moeilijkheid kon worden geïnterpreteerd als het gevolg van de behoefte van docenten om controle te houden over wat zich tijdens groepswork afspeelde. Bovendien verwachtten studenten een antwoord op hun vragen. Blijkbaar verhinderden de opvattingen van docenten en studenten de beoogde verandering. Daarom werd met de docenten afgesproken dat zij niet direct zouden ingaan op problemen die zij bij studenten vaststelden, maar dat zij deze tot onderwerp van klassikale discussies zouden maken. In deze dis-

cussies konden docenten dan een model bieden van de manier waarop problemen door onderzoek konden worden benaderd. Daarbij werd als uitgangspunt genomen dat één student per groep in de klas zou uitleggen wat er gedaan was om het probleem op te lossen, en hoe hierbij de GR was gebruikt. Ook deze aanpak bleek echter niet effectief. Niet alleen hadden studenten problemen met het onder woorden brengen welke oplossingsstrategie in een groep was gevolgd, maar ook bleken de anderen niet bereid om een gepresenteerde strategie serieus te overwegen. Daarom werd besloten om het aan de docent over te laten de discussie te sturen. Door vragen te stellen over gevonden oplossingen, over hoe de GR was ingezet en over de betekenis van de output, werd verwacht dat de docent de effectiviteit van een onderzoeksgerichte benadering duidelijk zou kunnen maken. Ook na deze interventie bleek het gedrag van docenten niet consistent. Het bleek dat de docenten discussies vaak onderbraken om er zeker van te zijn dat studenten de gewenste conclusies zouden aannemen. Opnieuw (nog steeds) kon dit gedrag worden verklaard vanuit de behoefte om controle te houden over het leerproces van studenten.

Geprobeerd is daarom de klassikale discussies zo in te richten dat geen conclusies aan de studenten werden 'opgelegd'. De docenten bleven uitdagende vragen stellen aan studenten, maar vermeden om de discussie te onderbreken om zo conclusies 'veilig te stellen'. De observaties wezen uit dat docenten nu daadwerkelijk minder sturend te werk gingen. Deze verandering in instructiegedrag werd geïnterpreteerd als aanwijzing dat zij zich een meer ondersteunende 'coachende' manier van instructie eigen hadden gemaakt.

De observaties lieten echter ook zien dat docenten deze aanpak niet ook zonder meer toepasten bij het ondersteunen van samenwerkend leren in kleine groepen. Zij bleven vaak individu-gerichte feedback geven. In overleg stemden de docenten ermee in dat dit gedrag niet effectief was om samenwerking te verbeteren. Daarom werd afgesproken dat zij samenwerkend leren zouden ondersteunen door individuele vragen aan de groep terug te spelen, door uitleg en verklaringen te vragen over de manier waarop een probleem was aangepakt, door specifiek in te gaan op de manier waarop de GR werd gebruikt, en door de groep feedback te geven over hun manier van samenwerken. Verder werd afgesproken dat de docenten de groepjes voldoende tijd geven om op hun vragen een antwoord te kunnen geven en op hun opmerkingen te reageren (Kaartinen & Kumpulainen, 2002). Bij dit alles werd beoogd de samenwerking binnen de groepjes te verbeteren.

10. Resultaten

We bespreken eerst de veranderingen in het docentengedrag tijdens de verschillende instructieactiviteiten. Daarna bespreken we hoe het gebruik van de GR tijdens het samenwerkend leren in de loop van het schooljaar veranderde.

Wat betreft de klassikale discussies die de docenten tijdens het onderwijs-experiment hebben georganiseerd, laten observatiedata zien dat zij redelijk in staat waren om daar vorm aan te geven. Tijdens deze klassikale discussies probeerden de docenten studenten te stimuleren om de GR te gebruiken bij het onderzoeken van wiskundige verschijnselen. De analyse laat zien dat, vooral in het begin van het schooljaar, de docenten de klassikale discussies regelmatig onderbraken om directe uitleg te geven. Soms had deze betrekking op hoe iets kan worden gedaan met de GR, soms op de vakinhoud. Naarmate

het jaar vorderde veranderde dit en waren docenten steeds beter in staat om het aan de studenten over te laten zelf (deel)problemen op te lossen met behulp van de GR. Vooral tijdens het nadenken over en het reflecteren op stappen en resultaten werd de GR in toenemende mate gebruikt om te controleren en te onderzoeken. Tijdens zulke discussies daagden docenten de studenten uit door te vragen wat zij op hun scherm zagen en wat dit betekende. Op hun beurt hielpen de studenten elkaar tijdens deze klassikale discussies bij het oplossen van een probleem door suggesties te doen, uitleg te geven en ideeën naar voren te brengen.

In de loop van het schooljaar waren de docenten steeds beter in staat een klassikale discussie uit te lokken, zonder deze te sturen door aan te geven of iets goed of fout was. Zo vroegen ze of iedereen het met een bepaalde redenering of antwoord eens was, waarbij ze het oordeel steeds vaker overlieten aan de studenten. Dit betekent dat zij erop vertrouwden dat de studenten in staat waren een probleem goed op te lossen. Een zekere vorm van antwoord- en oplossingsgerichte feedback bleef echter wel bestaan, omdat studenten graag wilden weten of ze iets goed of fout hadden gedaan.

Wat betreft samenwerkend leren in kleine groepen kwamen tijdens de retrospectieve analyses van het groepswerk twee belangrijke veranderingen naar voren. Ten eerste veranderde de begeleidingstijl van de docenten. In het begin van het schooljaar waren zij sterk geneigd inhoudsgerichte feedback te geven aan individuele studenten. Geleidelijk aan werd de inhoud van de gegeven feedback echter meer procesgeoriënteerd. Ten tweede gingen de studenten de GR in de loop van het schooljaar anders gebruiken tijdens het groepswerk. In het begin van het schooljaar werd de GR voornamelijk gebruikt om iets uit te rekenen of te tekenen. Hierbij reflecteerden de studenten vrijwel niet op de verkregen output.

Als de studenten aan het begin van het schooljaar de GR gebruikten, gebeurde dat met name als een instrument dat helpt om iets te tekenen of uit te rekenen. De GR werd gebruikt individuele basis, en studenten vroegen de docent om hulp als ze iets niet begrepen. De docent reageerde door oplossingsgerichte feedback te geven. Daarbij was het vaak niet duidelijk of de leerling iets had gehad aan de reactie van de docent. Docenten vervolgden vaak hun begeleiding van het groepswerk zonder te controleren of hun uitleg wel zinvol geweest was voor de leerling in kwestie.

In de loop van het schooljaar gingen de studenten steeds meer en beter met elkaar samenwerken. Hierbij gingen zij de GR steeds meer gebruiken om tijdens discussies iets te onderzoeken of om hun beweringen te onderbouwen door iets aan anderen te tonen of uit te leggen. Bij het uitleggen of toelichten lieten zij vaak het scherm van hun GR aan elkaar zien. Kortom, de GR werd steeds vaker gezamenlijk gebruikt om de discussies te ondersteunen.

Aan het einde van het schooljaar voerden studenten onderling kritische discussies en gebruikten ze de GR om hun argumenten te ondersteunen. Daarbij lieten ze voortdurend de schermen aan elkaar zien. Daarnaast gaven zij uitleg bij ideeën die ze hadden en corrigeerden ze elkaar. Dit alles gebeurde in een positieve atmosfeer.

11. Conclusie en discussie

Doel van het onderzoek was na te gaan of instructieactiviteiten kunnen leiden tot betere vormen van GR-ondersteund samenwerkend probleemoplossen.

Daarvoor werden activiteiten ontwikkeld met als uitgangspunt dat de docent in de positie is om veranderingen in interacties te initiëren. Deze activiteiten werden ontwikkeld in samenwerking met de deelnemende docenten.

Ontwikkeling en implementatie zijn uitgevoerd in een ontwerpstudie. In deze studie zijn met de docenten afspraken gemaakt om hun instructie geleidelijk aan te passen. Hierbij kunnen drie elementen worden onderscheiden. Allereerst legden docenten in klassikale instructies de interface van de GR uit, waarbij studenten de instructie volgden. Ten tweede organiseerden docenten klassikale discussies. Tijdens deze discussies liet de docent zien hoe de GR als hulpmiddel kon worden gebruikt om deelproblemen te onderzoeken. Hierbij werden studenten uitgedaagd suggesties te doen, uitleg te geven en ideeën naar voren te brengen. Het derde element betreft de begeleiding van samenwerkend leren in kleine groepen. Was feedback aanvankelijk vooral individueel en vraaggericht, geleidelijk veranderden docenten dit door meer te reageren op het oplossingsproces en de manier van samenwerken. De feedback werd ook steeds minder antwoordgericht; de docenten speelden problemen terug naar de groep.

Voor wat betreft het effect op het gedrag van de studenten, blijkt uit observaties en analyses dat er verschillen waren in manier waarop de GR gebruikt werd aan het begin en het einde van het schooljaar. Aan het begin van het schooljaar was de samenwerking tussen de studenten weinig effectief. De GR werd vooral individueel als (geavanceerde) rekenmachine gebruikt. Hierbij werden gegevens in de GR ingevoerd waarbij de output zonder discussie werd aangenomen. Het gebruik van de GR droeg nauwelijks bij aan de samenwerking. In de loop van het schooljaar werd de GR steeds meer gebruikt als een hulpmiddel bij het samenwerkend oplossen van problemen. Studenten gebruiken de GR steeds meer voor het onderzoeken van ideeën en het uitleggen of toelichten hiervan.

Docenten veranderden gaandeweg hun instructiegedrag. Vooral aan het begin van het schooljaar waren zij sterk gericht op het geven van vakinhoudelijke feedback aan (individuele) studenten. Vaak vielen de docenten hierbij terug in vormen van directe instructie. Dit gebeurde niet alleen omdat studenten verwachtten dat de docent aan zou geven of iets goed of fout was, maar ook omdat de docent er zeker van wilde zijn dat studenten op een zeker punt in de discussie een bepaalde conclusie zouden trekken. Zodra dat punt bereikt was greep de docent in om de conclusie 'zeker te stellen'. Geleidelijk aan werden docenten minder gericht op het 'veilig stellen' van een conclusie. Ze stimuleerden discussies over gebruikte strategieën en conclusies die de studenten trekken en waren steeds beter in staat om discussies te stimuleren zonder deze in een door hen gewenste richting te sturen. Dit deden ze door uitleg te vragen en studenten uit te dagen hun ideeën naar voren te brengen. Hierbij veranderde de rol van de docent van instructeur naar coach. Parallel aan de veranderingen in de instructies, veranderde ook het gebruik van de GR. Het gebruik raakte geïncorporeerd in het samenwerkend leren en discussiëren en steeds meer werd de GR een apparaat om iets mee te onderzoeken.

Concluderend kan worden gesteld dat instructieactiviteiten kunnen bijdragen aan meer effectief samenwerkend leren, waarbij de GR een meer onderzoeksgericte functie krijgt. Reflectie op wat er gebeurt en hoe het onderwijs kan worden veranderd zijn belangrijke aspecten bij het vormgeven ervan.

Verder moeten docenten en studenten de wil om te veranderen combineren met adequate vaardigheden in het gebruik van de GR. Volgens Knezek en Christensen (2002) zijn dit de belangrijkste succes bepalende factoren bij de inzet van technologie in een onderwijssituatie.

Correspondentie betreffende dit artikel kan gestuurd worden naar Dirk J. Hoek, Open Universiteit Nederland, Vondellaan 202, 3521 GZ Utrecht. Email: dirk.hoek@ou.nl. De analyses beschreven in dit artikel zijn uitgevoerd in het kader van een onderzoeksproject dat gesubsidieerd is door NWO, onder no. 575-36-003D. Het onderzoeksproject was een onderdeel van een aandachtsgebied 'Wiskunde en ICT'.

Abstract

The use of the graphic calculator during collaborative work in secondary vocational education

On several schools for vocational education in the Netherlands, a new mathematics textbook has been implemented. Characteristics of this textbook are the use of tasks that are based on meaningful problems and the integration of the graphic calculator. An instructional approach was designed that included gradual adaptations in teacher instructional behavior in organizing whole-class instructions and whole-class discussions and in coaching student collaborative working in small groups. Although the study had a broader aim of improving student collaboration, in this article, it is investigated how teachers' instruction in how to use the graphic calculator is related with how students used this tool during collaborative problem solving. The learning environment included both classroom and collaborative (small group) activities. During one year video registrations were collected of these activities. Observations and video registrations were used to discuss instructional adaptations with the teachers. Registrations of collaborative work were used to transcribe verbatim teacher-student and student-student interactions. Results indicate that during collaborative work the graphic calculator was increasingly used as a tool to support discussions between students.

Referenties

- Berger, M. (1999). Graphic calculators: An interpretive framework. *For the Learning of Mathematics*, 18, 13–20.
- Bransford, J.D., Brown, A., & Cocking, R. (1999). *How people learn: brain-mind experience and school*. Washington, DC: National Academy Press.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. and Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher*, 32, 9-13.
- Cobb, P., Stephan, M., McClain, K., & Gravemeijer, K. (2001). Participating in classroom mathematical practice. *Journal of the Learning Sciences*, 10, 113-163.
- De Corte, E., Verschaffel, L. & Greer, B. (1996). Mathematics, learning and instruction of. In E. De Corte & F.E. Wienert. (Red.), *International encyclopedia of developmental and instructional psychology* (pp. 535-538). New York: Pergamon Press.
- De Lange, J. (1987). *Mathematics, Insight and Meaning*. Utrecht: Universiteit Utrecht: OW&OC.

- Dekker, R., & Elshout-Mohr, M. (1998). A process model for interaction and mathematical level raising', *Educational Studies in Mathematics*, 35, 303–314.
- Dekker, R., & Elshout-Mohr, M. (2004). Teacher interventions aimed at mathematical level raising during collaborative learning. *Educational Studies in Mathematics*, 56, 39–65.
- Doerr, H.M., & Zangor, R. (2000). Creating Meaning for and with the Graphing Calculator. *Educational Studies in Mathematics*, 41, 143-163.
- Doorman, L.M., Drijvers, P. & Kindt, M. (1994) *De grafische rekenmachine in het wiskundeonderwijs*. Utrecht: CDβ-Press.
- Drijvers, P., & Doorman, M. (1996). The graphics calculator in mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 15, 425-440.
- Dunham, P. H., & Dick, T. P. (1994). Research on graphing calculators. *Mathematics Teacher*, 87, 440–445.
- Ellington, A.J. (2003). A meta-analysis of the effects of calculator on students' achievement and attitude levels in precollege mathematics classes. *Journal for Research in Mathematics Education*, 34, 433-463.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education: China Lectures*. Dordrecht: Kluwer.
- Goris, T., & Van der Kooij, H. (1997-2000). *Twin wiskunde, delen 1, 2, 3 en 4*. Leiden: SMD.
- Gravemeijer, K.P.E. (1994), *Developing Realistic Mathematics Education*. Utrecht: CDβ-Press.
- Greeno, J.G. (1991). Number sense as situated knowing in a conceptual domain. *Journal for Research in Mathematics Education*, 22, 170-218.
- Greeno, J.G., Collins, A., & Resnick, L.B. (1996). Cognition and learning. In D.C. Berliner & R.C. Calfee (Red.), *Handbook of educational psychology* (pp. 15-46). New York: Macmillan.
- Hiebert, J., Carpenter, T. P., Fennema. E., Fuson, K., Human, P., Murray, H., Olivier, A., & Wearne, D. (1996). Problem solving as a basis for reform in curriculum and instruction: the case of mathematics. *Educational Researcher*, may 1996.
- Howe, C., Duchak-Tanner, V., & Tolmie, A.(2000). Co-ordinating support for conceptual and procedural learning in science. In R. Joiner, K. Littleton, D. Faulkner & D. Miell, (Eds.), *Rethinking Collaborative Learning* (pp. 81-100). London: Free Association Books.
- Kaartinen, S., & Kumpulainen, K. (2002). Collaborative inquiry and the construction of explanations in the learning of science. *Learning and Instruction*, 12, 189-212.
- Knezek, G., & Christensen, G. (2002). Impact of New Information Technologies on Teachers and Students. *Education and Information Technologies*, 7, 369-376.
- Lemke, J.L. (1997). Cognition, context, and learning: A social semiotic perspective. In D. Kirshner and J.A. Whitson, (Red.), *Situated Cognition: Social, Semiotic and Psychological Perspectives* (pp. 37–55)., Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Mercer, N. (1996). The quality of talk in children's collaborative activity in the classroom. *Learning and Instruction*, 6, 359–377.

- Penglase, M., & Arnold, S. (1996). The graphics calculator in mathematics education: A critical review of recent research. *Mathematics Education Research Journal*, 8, 58-90.
- Rogoff, B., & Toma, C. (1997). Shared thinking: Community and institutional variations. *Discourse processes*, 23, 471-497.
- Romberg, T.A., & Carpenter, T.P. (1986). Research on teaching and learning mathematics: two disciplines of scientific inquiry. In M. Witrock (Red.), *Handbook of research and teaching*, 3rd edition (pp. 850-873). New York: McMillan.
- Ruthven, K. (1992). Personal technology and classroom change: A British perspective. In J.T. Fey en C.R. Hirsch (Red.), *Calculators in mathematics education: 1992 yearbook* pp. 91-100. Reston, VA: NCTM.
- Ruthven, K. (1996). Calculators in the mathematics curriculum: the scope of personal computational technology. In A. Bishop en anderen (Red.), *International Handbook of Mathematics Education* (pp 435-468). Dordrecht: Kluwer.
- Smith, E. (1999). Social constructivism, individual constructivism and the role of computers in mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17, 411-425.
- Streefland, L. (1991). *Fractions in Realistic Mathematics Education. A Paradigm of Developmental Research*. Dordrecht: Kluwer.
- Treffers, A. (1987) *Three Dimensions. A Model of Goal and Theory Description in Mathematics Instruction – The Wiskobas Project*. Dordrecht: Reidel.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (1996). *Assessment and Realistic Mathematics Education*. Utrecht: CDβ-Press
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (2003). The didactical use of models in Realistic Mathematics Education: an example from a longitudinal trajectory on percentage. *Educational Studies in Mathematics*, 54, 9-35.
- Wegerif, R., Mercer, N., & Dawes, N. (1999). From social interaction to individual reasoning: An empirical investigation of a possible socio-cultural model of cognitive development. *Learning and Instruction*, 9, 493-516.
- Wertsch, J.V., Hagström, F., & Kikas, E. (1995). Voices of thinking and speaking. In L.M.W. Martin, K. Nelson & E. Tobach (Eds.), *Sociocultural Psychology* (pp. 276-290). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

