

De rubriek *Uit de ivoren toren* richt zich op het toegankelijk maken van resultaten van vakdidactisch of onderwijskundig onderzoek. In deze aflevering doen **Michiel Doorman** en collega's verslag van een experimenteel onderzoek waarin wordt nagegaan of het oefenen van lineaire en kwadratische vergelijkingen met de computer effectiever is dan de 'traditionele' aanpak met pen en papier. Het blijkt nog niet zo eenvoudig om efficiënter en effectiever leren aan te tonen.

Uit de ivoren toren: Oefenen met de computer is niet automatisch effectief

Inleiding

In toenemende mate is software beschikbaar voor het oefenen van algebraïsche vaardigheden. De effectiviteit van dergelijke hulpmiddelen, die soms de vorm hebben van complete leeromgevingen, voor het wiskundeonderwijs is echter nog nauwelijks vastgesteld. Dit was de aanleiding voor een project in het kader van het OnderwijsBewijsprogramma¹ rond de volgende onderzoeksvraag:

Vindt het leren en oefenen van algebraïsche basisvaardigheden in een digitale leeromgeving effectiever plaats dan in meer traditionele leeromgevingen?

In dit onderzoek is het oefenen toegespitst op het oplossen van lineaire en kwadratische vergelijkingen. De verwachting was dat het antwoord op de onderzoeksvraag bij deze onderwerpen positief zou zijn vanwege enthousiaste reacties van docenten die Wisweb-applets² voor het oplossen van vergelijkingen in de klas hadden gebruikt. Leerlingen leerden volgens hen beter dan bij oefenen met pen en papier omdat de leerlingen:

- met de computer gemakkelijker problemen kunnen exploreren,
- beter gericht kunnen worden op het verwerven van bepaalde strategieën doordat de computer rekenwerk (tijdelijk) uit handen neemt en door een dynamische verbinding met modellen, zoals het balansmodel,
- systematischer leren werken,
- directe goed-foutfeedback ontvangen waardoor voorkomen wordt dat zij lang op een verkeerd spoor zitten,
- gemotiveerd raken door een goed-score,
- beter samenwerken.

Verder meenden de docenten dat zij het werk van de leerlingen beter kunnen volgen.

De verwachte bijdragen van computergebruik aan het leerproces wilden we vaststellen met een vergelijkend onderzoek.

De opzet van het onderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd rond het oplossen van lineaire en kwadratische vergelijkingen. Deze onderwerpen komen in de meeste wiskundemethoden die in klas 2 van HAVO en VWO gebruikt worden aan de orde in twee hoofdstukken, die elk opgaven bevatten waarin het oplossen van de vergelijkingen wordt geoefend. Voor de paragrafen met deze oefeningen zijn online alternatieven ontworpen met Wisweb-applets in de Digitale Wiskunde Omgeving³ (DWO).

Voor de werving van de scholen is gebruik gemaakt van een bestand met alle HAVO/VWO-scholen (711 scholen) en een bestand met Wisweb-scholen (142 scholen). Dit Wisweb-bestand is gebruikt vanuit de veronderstelling dat die scholen ervaring met en faciliteiten voor computerlessen zouden hebben. De scholen zijn voor het onderzoek random uit beide bestanden geselecteerd en aangeschreven. Na het aanschrijven van vijftig scholen was er voldoende respons voor het onderzoek (dertien scholen waarvan zeven Wisweb-scholen). In het onderzoek zijn de controle en de experimentele condities zo vergelijkbaar mogelijk gehouden doordat iedere docent les gaf aan twee tweede klassen, waarvan de ene is toegewezen aan de experimentele DWO-lessen en de ander aan de 'traditionele' lessen. In de meeste gevallen is deze keuze op basis van toeval gemaakt. In enkele gevallen heeft de docent om praktische redenen zelf de experimentele klas gekozen, bijvoorbeeld vanwege de beschikbaarheid van het computerlokaal tijdens specifieke lessen. De onderzoeksgroep bestond uiteindelijk uit zestien docenten en 842 leerlingen van dertien scholen.

Ontwerp interventies

Voor de uitvoering van de experimenten zijn alternatieve digitale oefenmodules ontwikkeld bij de twee hoofdstukken over lineaire vergelijkingen en kwadratische vergelijkingen van *Moderne Wis-*

kunde en *Getal & Ruimte* (zie figuur 1). Deze vier modules zijn ontwikkeld en uitgeprobeerd door de docenten van scholen die al meer ervaring hadden met de DWO en medewerkers van het Freudenthal Instituut. De modules zijn ook besproken met onderwijsonderzoekers en -ontwerpers van een tweede universiteit met betrekking tot verschillende vormen van feedback. Hieruit kwam bijvoorbeeld naar voren dat de feedback beperkt zou blijven tot correctieve feedback en meer aandacht besteed zou worden aan de beschikbaarheid van hulp en uitgewerkte voorbeelden tijdens de computerlessen. Het beproeven van de modules leidde tot de definitieve modules voor het onderzoek, die ook verrijkt waren met plaatjes en filmpjes om de interface uit te leggen en de relatie met het boek te versterken. De laatste versies van de modules en bijbehorende docent-handleidingen zijn te vinden via de projectsite⁴.

Procedure

De cijfers van alle leerlingen op hun eerste proefwerk zijn verzameld als maat voor de wiskundige bekwaamheid van de leerling (variabele Vooraf_cijfer_H1). Vervolgens hebben de leerlingen aan de hoofdstukken gewerkt. Aan het eind van elk hoofdstuk is een proefwerk gegeven, dat is samengesteld op basis van de methodetoetsen. De cijfers van

zowel de controle- als de experimentele groep voor de proefwerken over lineaire en over kwadratische functies zijn verzameld (variabelen Cijfer_lineair en Cijfer_kwadratisch). Ongeveer drie weken na deze proefwerken is nog een zogenaamde retentietoets afgenomen om te bekijken wat is blijven hangen van de stof. Deze retentietoets bevatte drie lineaire en drie kwadratische vergelijkingen (respectievelijk Retentie_lineair en Retentie_kwadratisch).

Resultaten

Tabel 1 geeft de gemiddelde resultaten weer voor alle verzamelde cijfers voor de twee groepen. De schaal van de cijfers loopt van 1 tot 10.

Uit tabel 1 blijkt dat de prestaties van leerlingen in de DWO-klassen niet beter zijn dan die van de controlegroepen. Wel blijkt uit de nulmeting dat het aanvangsniveau van de experimentele groep lager is dan dat van de controlegroep. Deze achterstand lijkt in de loop van het experiment minder te worden (zie resultaten Cijfer_kwadratisch en Retentie_lineair), maar is weer groter bij het tweede deel van de retentiemeting. Overigens is dit globale patroon per docent verschillend (zie figuur 2 boven). Een verklaring voor het toenemende verschil bij de toets

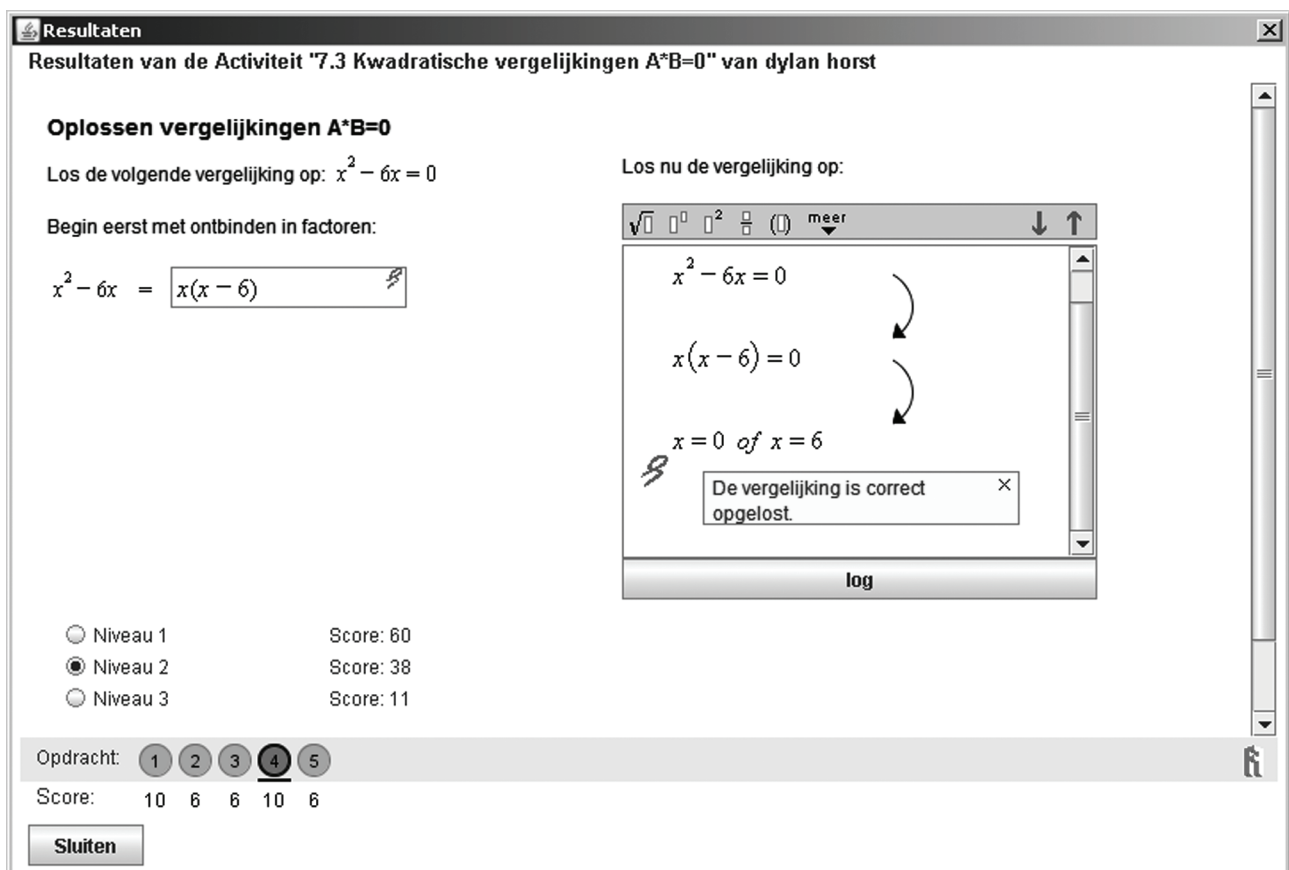


fig. 1 Een uitgewerkte opgave in de DWO.

- Het leren met de computer is misschien toch vluchtiger dan verwacht en vereist meer verwerking met pen en papier dan wij in de interventie verwerkt hadden. De minder goede score op R2 kan wijzen op langzamer werken door de experimentele groep. Het kan zijn dat het computergebruik in deze opzet leidde tot te ‘gemakkelijke’ activiteiten. In de literatuur wordt in dit verband ook wel een onderscheid gemaakt tussen ‘easy media’ (zoals tv) en ‘tough media’ (pen en papier) (Beentjes, 1989; Salomon, 1984).
- Een tweede beperking kan liggen in de gemaakte keuze voor correctieve feedback, terwijl bij het ontwikkelen en verstevigen van strategieën procedurele feedback mogelijk beter was geweest.
- Mogelijk is in het experiment sprake van een zogenaamd Spillover-effect. In de retentietoets – waarvan we alle uitwerkingen ontvangen hebben – is opgemerkt dat de leerlingen van de controlegroep de pijlnotatie van de oefenapplets en de gestructureerde aanpak gebruiken die voornamelijk bij de interventiegroep werden verwacht (zie figuur 4). Het kan zijn dat de betrokken docenten zich onbewust hebben laten inspireren door de didactische aanpak van de online modules en daarmee ook in de controlegroep een meer systematische aanpak met vergelijkbare schematische ondersteuning hebben gehanteerd.
- Voor de leerlingen in de experimentele groep werden individuele accounts gemaakt. De leerlingen werkten dus vaak alleen achter een computerscherm. Het kan zijn dat dit de samenwerking tijdens het oefenen beperkte en daarmee het leereffect negatief heeft beïnvloed.

b. $18 - 2x = 10 - 4x$
 $18 + 2x = 10$ (toevoegen $4x$)
 $2x = -8$ (aftrekken 10)
 $x = -4$ (vermenigvuldigen met $\frac{1}{2}$)

fig. 4 De balansmethode bij de DWO-groep (rechts) en bij de controlegroep (links).

Wat kan geleerd worden van dit onderzoek? In de eerste plaats blijkt dat oefenen met de computer niet automatisch effectief is. Misschien was de opzet van dit onderzoek, waarbij alleen het oefendeel van een hoofdstuk is vervangen door computeractiviteiten,

te beperkt voor een goede integratie en tevens lastig te organiseren voor de docenten. Een docent moest bijvoorbeeld enkele computerlessen geven in de mediatheek, met slechts een beperkt aantal computers en waar ook andere leerlingen rondliepen, omdat het computerlokaal bezet was. Meer vrijheid in keuze van technologie afhankelijk van de beschikbare faciliteiten en het beoogde leerproces zou wellicht tot betere resultaten kunnen leiden. Die vrijheid in keuze zou misschien niet alleen voor docenten moeten gelden, maar ook voor leerlingen om tegemoet te kunnen komen aan verschillen in leerstijlen. Bovendien moet gezocht worden naar manieren om in het onderwijs niet alleen de mogelijkheden van ICT te benutten, maar ook het krachtige van pen-en-papier te behouden. Dit is een uitdaging voor de toekomst van het DWO-project.

Het project: <http://www.fisme.science.uu.nl/ffdwo/>
 DWO: <http://www.fisme.science.uu.nl/wisweb/> en <http://www.fisme.science.uu.nl/dwo/>

Michiel Doorman*, Paul Drijvers*,
 Paul Kirschner+, Peter Boon*, Bert Hoogveld+
 * Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht
 + Open Universiteit Nederland

Dankwoord

Hierbij willen we onze dank betuigen aan de docenten die hebben meegewerkt aan het ontwerp van de lessen (Saskia van Boven, Gerard Koolstra, Robert Linders, Dieuwertje den Ouden, Arthur Ruiter en Theo van der Weiden) en aan de docenten en leerlingen die hebben deelgenomen aan het experiment.

Literatuur

- Beentjes, J.W.J. (1989). Learning from television and books: A Dutch replication study based on Salomon's model. *Educational Technology Research and Development*, 37(2), 47-58.
- Salomon, G. (1984). Television is "easy" and print is "tough": The differential investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76, 647-658.

Noten

- [1] <http://www.onderwijsbewijs.nl>
 [2] <http://www.wisweb.nl>
 [3] <http://www.fisme.science.uu.nl/dwo/>
 [4] <http://www.fisme.science.uu.nl/ffdwo/>