

In het kader van het WELP-project hebben leerlingen van het St. Michaël College (Zaandam) gewerkt met oefenapplets bij algebra. **Christian Bokhove** en **Martin van Reeuwijk** gaan in op de resultaten en op de randvoorwaarden om de applets succesvol in het onderwijs te implementeren.

In plaats van erbij

Inleiding

Er is veel geschreven over de meerwaarde van computergebruik in de wiskundelessen. De geluiden zijn bovenal positief. Het is echter de vraag hoe de succesvolle ervaringen uit onderzoek en ontwikkelingsprojecten kunnen worden omgezet in concrete, lesstofvervangende initiatieven waarmee een ‘gewone’ docent aan de slag kan.

In het WELP-project¹ werken het Freudenthal Instituut, APS-wiskunde, uitgevers van wiskundemethoden en scholen samen om een leerlijn met ICT te ontwikkelen en te implementeren. Het project richt zich met name op algebra in de tweede en derde klas van HAVO/VWO, en de ICT bestaat uit applets.

De eerste ervaringen wijzen uit dat leerlingen de lessen leuker en afwisselender vinden. Verder lijkt het erop dat, wanneer met geschikt lesmateriaal wordt gewerkt en een goede begeleiding door de docent, de prestaties van de leerlingen beter zijn en het behaalde eindniveau hoger. Werken met ICT betekent overigens niet dat alles met de computer moet gebeuren. Van belang is de vertaalslag van de computer terug naar het denken en redeneren en het werken met papier. Er zijn genoeg aanwijzingen in het WELP-project om voorzichtig te kunnen concluderen dat dit vertalen ook beter verloopt, mits aan enkele randvoorwaarden wordt voldaan.

In dit artikel schetsen we hoe met behulp van applets een algebraleerlijn kan worden vormgegeven; hoe dit de dagelijkse lespraktijk beïnvloedt, wat de randvoorwaarden zijn en hoe het implementatietraject van onderwijs met applets verder uitgewerkt kan worden. We doen dit aan de hand van een ‘best practice’ voorbeeld waarin leerlingen met enkele oefenapplets bezig zijn met het onderwerp vergelijkingen. De concrete ervaringen en lesobservaties komen uit lessen bij Coos van der Dussen, een collega-docent wiskunde aan het Sint Michaël College te Zaandam. Ze is uitermate enthousiast geworden over de toegevoegde waarde van computerpractica.

Applets: stimuleren en motiveren

Gedurende de eerste jaren van het voortgezet onderwijs moeten leerlingen onder andere een basis leggen voor het vervolgonderwijs. Groot struikelblok bij wiskunde is dikwijls de algebra: vergelijkingen oplossen, variabelen gebruiken, werken met haakjes enzovoort. Dit zijn veelal algebraïsche vaardigheden die baat hebben bij een grondige aanpak. Hoewel er met man/vrouw en macht aan wordt gewerkt om de leerlingen deze vaardigheden te leren, zijn de resultaten niet onverdeeld positief. Veel docenten klagen over het gebrekkige niveau van de algebraïsche vaardigheden van de leerling, ook al zijn er andere kwaliteiten en vaardigheden die de leerling van nu beter beheerst (zoals bijvoorbeeld algemenere probleemoplossingsvaardigheden). Het zou mooi zijn als leerlingen – op een motiverende wijze – aan het eind van de basisvorming beter beslagen ten ijs komen wat betreft de algebra dan nu vaak het geval is. Ervaringen in het WisWeb-project (zie noten en www.wisweb.nl) tonen aan dat het inzetten van applets een positief effect kan hebben op het (met plezier en inzicht) leren van algebra.

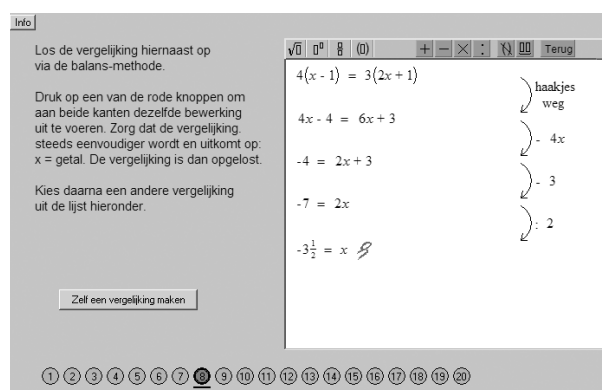


fig. 1 Vergelijkingen oplossen met de weegschaal

Ondanks vele interessante en positieve ervaringen met applets in de les², lijkt de drempel om applets daadwerkelijk structureel te gaan gebruiken nog steeds (te) hoog. Docenten zien computeractiviteiten als ‘leuk om erbij’ te

doen. Dit heeft tot gevolg dat leerlingen het geheel als een eenmalige gebeurtenis beschouwen die niet bij het reguliere onderwijs hoort, zoals ‘apekooien’ op vrijdagmiddag. Idealiter zou het gebruik van computers geïntegreerd moeten worden in de dagelijkse lespraktijk. Leerling en docent wennen aan de variatie in lesvorm en de computer wordt net zo gewoon als het boek en schrift. Het gebruik van applets moet dan niet beperkt worden tot een enkele keer aan het eind van een hoofdstuk, maar moet worden ingebed in langere leerlijnen.

Zo’n leerlijn zou moeten beginnen in de eerste klas en doorlopen naar het eindexamenjaar en wellicht zelfs tot in het hoger onderwijs. Een dergelijke leerlijn maken is geen sinecure. Het moet stapje voor stapje gebeuren. In het WELP-project is een begin gemaakt met het ontwikkelen en implementeren van zo’n leerlijn. Het gaat om een leerlijn voor algebra in klas 2 en 3 van HAVO/VWO waarin applets zijn geïntegreerd in het lesmateriaal.

Leerlingen uitdagen

Als een leerling de leerstof niet beheerst, is de eerste neiging van een docent om het niveau terug te schroeven. Het WisWeb en het WELP-project hebben ons in ieder geval geleerd dat juist het ‘uitdagen’ leerlingen tot grotere hoogten kan doen stijgen. Dankzij het werken met applets is het makkelijker om individuele leerlingen op verschillende manieren aan te spreken en uit te dagen. Dit uitdagen gebeurt op twee manieren.

Ten eerste kunnen de gevraagde opdrachten moeilijker zijn dan in het boek. Het puzzelkarakter van applets en het feit dat leerlingen een computerprogramma als ‘probeerthuis’ ter beschikking hebben, maakt dat leerlingen sneller eigen probeersels analyseren. De applets vormen hierbij een veilige leeromgeving waarin fouten gemaakt mogen worden. Niet de docent, maar de computer geeft feedback. Leerlingen accepteren en interpreteren een incorrect antwoord niet als ‘fout’ maar als ‘nog niet goed’. De leerling leert van zijn/haar fouten, probeert een nieuwe aanpak en ontdekt de verbanden. Met deze probleemoplossende aanpak lijkt het erop dat het open karakter van de problemen leerlingen uitdaagt om verder te kijken dan de neus lang is.

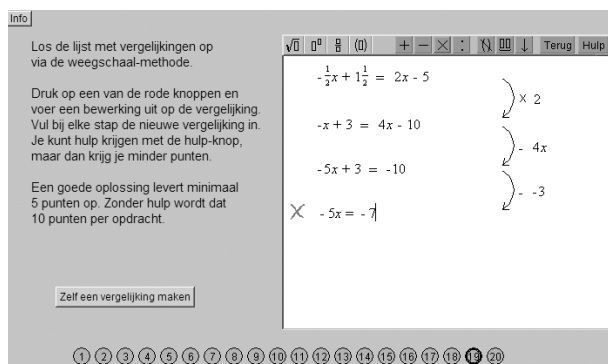


fig. 2 De spelvariant van het weegschaalapplet

Een tweede succesvolle wijze van uitdagen ligt in het spelelement. Een aanpak die werkt is leerlingen uit te dagen moeilijkere zelfgemaakte problemen te verzinnen en die aan elkaar voor te leggen. Deze aanpak kan ook onderdeel uitmaken van het lesmateriaal. Een applet kan ook in een spelvariant waarin de score wordt bijgehouden, worden aangeboden. Dat wil leerlingen wel motiveren: wie behaalt de hoogste score?

Scherms en papier, typen en schrijven

In computerondersteund onderwijs wordt vaak het gehele onderwijs via het beeldscherm aangeboden. Opdrachten, vragen, programma’s, antwoordformulieren, meerkeuzevragen, alles wordt door de computer gepresenteerd en moet ook via toetsenbord en muis worden ingevoerd. Dat is geen natuurlijke wijze van werken: mensen (dus ook leerlingen) lezen nu eenmaal prettiger van papier, zeker als het langere lappen tekst betreft. Ook wil je kunnen schetsen, aantekeningen maken, tussenoplossingen opschrijven en zelf de vorm van een antwoord bepalen.

Uit onze ervaringen in WisWeb en WELP lijkt de meest geëigende wijze om ICT zinnig te integreren een combinatie van computer (applets) en schriftelijk materiaal te zijn. Vaak heeft dit lesmateriaal het karakter van een werkblad waarop de vragen en opdrachten staan. De leerling voert opdrachten uit en noteert op het werkblad de antwoorden en bevindingen. Het is belangrijk om het lesmateriaal niet té zeer dicht te timmeren aangezien dit het open, probleemoplossende voordeel van applets teniet kan doen. Door het gecombineerde gebruik van beeldscherm en papier moeten leerlingen dat wat op het beeldscherm staat zelf opschrijven en in eigen woorden of taal duidelijk maken wat het antwoord is.

Vergelijkingen oplossen met een applet

Voor het onderwerp ‘oplossen van vergelijkingen’ is lesmateriaal ontwikkeld dat op een aantal scholen is uitgeprobeerd, zo ook op het St. Michaël College. In het lesmateriaal worden enkele (oefen)applets gebruikt waarmee leerlingen de weegschaalmethode en de bordjesmethode kunnen oefenen. De applets presenteren een reeks vergelijkingen die stap voor stap opgelost dienen te worden (zie figuren 1 en 2). Met de knoppen bovenaan kan een leerling een bewerking selecteren die vervolgens aan beide kanten van de vergelijking wordt uitgevoerd. De bedoeling is dat de vergelijking steeds eenvoudiger wordt en uitkomt op $x =$ oplossing.

Bij het gewone applet (figuur 1) moet de leerling bedenken welke bewerking moet worden uitgevoerd en doet het applet het rekenwerk. In de spelvariant (figuur 2) moet de leerling zelf ook de volgende regel intypen. De computer geeft dus alleen feedback over de juistheid van de volgende regel.

De leerlingen krijgen feedback in de vorm van een groene krul (=goed) of een rood kruis (=fout). Er is uiteraard één

goede oplossing, maar de wijze waarop de leerling tot deze oplossing komt, mag verschillen. Extra mooi is dat de leerling ook zélf vergelijkingen kan maken. En wat is er nou mooier dan een vergelijking verzinnen die een ander niet kan oplossen?

Coos van der Dussen werkte met het materiaal in haar tweede klas. Na een korte klassikale introductieles over ‘vergelijkingen oplossen’ hadden de leerlingen al snel door hoe het applet werkte. De leerlingen waren zo vertrouwd met de computer dat de bediening geen enkel probleem vormde. Sommige leerlingen gingen rap, zonder enige vragen, door de opdrachten heen en hadden alle vergelijkingen opgelost. De extra uitdaging was de opdracht ‘verzin je eigen vergelijkingen’ (zie figuur 3 voor een voorbeeld van een eigengemaakte vergelijking). Coos had eenzelfde ervaring toen ze dit applet een keer in de eerste klas gebruikte: leerlingen dagen elkaar uit om steeds moeilijke(re) vergelijkingen te verzinnen. En de leerlingen waren ook nog eens in staat om deze moeilijke vergelijkingen op te lossen!

$$\sqrt{12 - \frac{1}{\frac{4}{3\left(\frac{3}{x+2}\right) - 6}}} = 3$$

fig. 3 Voor leerlingen kan de zelfbedachte vergelijking niet moeilijk genoeg zijn

Sommige leerlingen gingen behoedzaam en stap voor stap te werk. Anderen schreven aanvankelijk weinig stappen op omdat ‘ze het meteen zagen’, maar kwamen bij een volgende opgave vast te zitten omdat ‘ze het niet zagen’ en gingen alsnog stapjes maken.

Het applet ‘dwingt’ je tot het maken van stapjes. Het rekenwerk wordt door het applet gedaan, maar je moet nadenken wat je het applet laat doen met de vergelijking. Dankzij dit applet kunnen leerlingen zich nu richten op de strategie en zijn rekenvaardigheden niet van belang. Deze eigenschap van het applet had een mooi (bij)effect. Aangezien de stapjes op het scherm mooi en keurig systematisch onder elkaar staan opgeschreven, schreven de leerlingen het dan ook maar zo in het schrift op, en dat werd ook bij het proefwerk zichtbaar.

Leerlingen verlieten uiteindelijk – aan het einde van het negende uur – enthousiast (!) het lokaal, met het gevoel in korte tijd het vergelijkingen oplossen geleerd te hebben en dit ook nog eens goed opgeschreven te hebben. Toen enige tijd later bleek dat de resultaten van de toets óók nog eens prima waren, was in ieder geval de succesbeleving van de leerlingen erop vooruitgegaan.

Een belangrijke vraag is dan natuurlijk: ‘Hoe komt dat nou?’ Coos heeft wel een paar ideeën. Ze heeft een fascinatie voor knopjes. Toen ze zelf met de applets aan de slag ging, was ze in eerste instantie niet met de leerstof be-

zig, maar met het spelen met de ‘knopjes’. Toevallig was het ook nog eens wiskundelesmateriaal. Ze was benieuwd hoe dat nu met leerlingen zou gaan. Of leerlingen dezelfde interesse in de techniek hebben als Coos weet ze niet, maar ze werken met plezier aan de computer en halen goede resultaten. Het samenwerken in tweetallen met de computer is leuker dan alleen werken met pen en papier. Op de computer is bovendien het uitproberen van oplossingsstrategieën makkelijker dan zonder computer; als er iets (nog) niet helemaal goed is, kan dat vrij makkelijk worden verbeterd zonder te krassen. Dat er feedback door het applet wordt gegeven, is op zich al een stimulans.

In een ‘computeromgeving’ werken is toch altijd weer spannend; je klikt hier en daar en dan gebeurt er iets. Een leerling kan zelf – binnen de grenzen van het lesmateriaal – op onderzoek uitgaan. En dat zet aan tot leren. Coos ziet veel positieve kanten aan deze manier van werken: ‘Vrijwel alle kinderen zijn gedurende een lange tijd opgewekt en enthousiast bezig geweest. Zonder uitzondering werkten ze hard aan de opdrachten en uiteindelijk had ik ook nog het idee dat er meer inzicht in de materie ontstond. Dat werd nog eens bevestigd door de zeer goede resultaten van de erg lastige eindtoets.’

‘Het kan natuurlijk wél zo zijn dat de aardigheid van een computerpracticum er na een poosje af gaat: het is eerder het feit dat je als docent afwisseling in je lessen aanbrengt, dan dat computergebruik de lessen leuker maakt.’ Ook hier zien we weer dat ICT een middel moet zijn en niet een doel op zich.

‘Ik moet wel zeggen dat ik zelf vaak niet de creativiteit en tijd heb die nodig is om aantrekkelijk lesvervangend materiaal te maken. En dat is natuurlijk wel belangrijk. Ik maak nu gebruik van materiaal dat al door het Freudenthal Instituut is gemaakt. Wie maakt het als het project afgelopen is?’

‘Ook de infrastructuur wat betreft computers moet goed zijn. Bij ons op school is die heel redelijk. Het zou handig zijn als er meer computers buiten het computerlokaal zouden zijn (bijvoorbeeld in je eigen lokaal), maar ja, dat zou wel weer ten koste gaan van de ruimte. Dan wordt de keuze moeilijker.’

Maar wat heb je nu nodig om echt zinvol bezig te zijn met ICT in de klas? Coos komt tot een aardig lijstje: goed lesmateriaal, goede faciliteiten, goede applets. Het mooie is in ieder geval dat ‘alleen al de lol die leerlingen hebben onbetaalbaar is’.

De bevindingen van Coos staan niet op zichzelf. Ze worden bevestigd door ervaringen bij andere wiskundedocenten op het St. Michaël College en op de drie andere scholen die bij het WELP-project betrokken zijn.

Randvoorwaarden appletgebruik

Het heeft heel wat voeten in aarde om ICT succesvol in de wiskundeles te gebruiken. We werken op school nu een aantal jaren met applets, en we hebben geleerd dat belangrijke randvoorwaarden zijn:

- *Een goede infrastructuur*
Uiteraard moeten er genoeg computers zijn, en als je met internet werkt een snelle aansluiting. Een demonstratiecomputer met beamer is ook heel handig en nuttig.
- *Een goede voorbereiding*
Een goed functionerende en perfecte infrastructuur is nog geen garantie dat het een succes wordt. Het is ook belangrijk altijd het computerlokaal en/of de computers te controleren op correcte werking. Ook het programma (de applets) van tevoren zelf bestuderen, is belangrijk. Als docent moet je toch weten wat je kunt verwachten.
- *Motivatie*
Je moet als docent gemotiveerd zijn om te werken met ICT. Zo nu en dan wil iemand gewoon niet en dan is bij dwang zo'n project gedoemd te mislukken. Een klein beetje goede wil is een noodzakelijke voorwaarde voor het welslagen van dit type ICT-onderwijs.
- *Een hechte vaksectie*
We hebben het over een veranderingsproces. En veranderen doe je nu eenmaal niet in je eentje. Als alle neuzen binnen de sectie dezelfde kant op (willen) staan, dan gaat het een stuk makkelijker.
- *Bereid zijn tijd te investeren*
In het beginstadium van implementatie van nieuw onderwijs met applets, zal extra tijd geïnvesteerd moeten worden. De lesmaterialen zijn weliswaar geschreven en beschikbaar, het vertrouwd raken met de applets, het bestuderen van het lesmateriaal en de fysieke inspanning gedurende de lessen in het computerlokaal (veel lopen voor ondersteuning) kosten tijd en energie.

Wat hebben we nu geleerd?

Op school hebben we de randvoorwaarden zoals hierboven beschreven aardig op orde. Dat is al een hele opbrengst en daar zijn we trots op. De belangrijkste inhoudelijke opbrengsten van het werken met het materiaal rond 'vergelijkingen oplossen' kunnen we in drie punten samenvatten.

- *Verhoogde motivatie bij leerlingen*
Gedurende de weken dat er met het alternatieve lesmateriaal werd gewerkt, was de motivatie van de leerlingen steeds weer uitstekend, ook als het een later uur op de dag betrof. Leerlingen vonden de computerlessen een welkome afwisseling op de normaal gebruikte werkvormen.
- *Betere prestaties*
Het proefwerk dat na dit lesstofvervangende hoofdstuk is afgenomen, werd beter gemaakt dan in de jaren ervoor wanneer we alleen met de hoofdstukken uit het boek werkten, en dat terwijl de gevraagde op te lossen vergelijkingen moeilijker waren. Hoewel uitgebrei-

der en gedetailleerder onderzoek absoluut noodzakelijk is, lijkt het dat de prestaties van de leerlingen significant beter zijn.

- *Betere notatie*
Er was een onverwacht bijeffect. Omdat applets de informatie gestructureerd aanbieden en leerlingen hierdoor gedwongen worden om alles gestructureerd op te lossen en te noteren, is de notatie bij het oplossen van vergelijkingen van de leerlingen aanzienlijk verbeterd. Bij het oplossen van vergelijkingen resulteert dit in nette gestructureerde rijtjes. Overigens hebben leerlingen nog steeds de neiging om bij zeer makkelijke sommen het antwoord meteen op te schrijven, iets dat ook bij de applet al kan. Pas bij buitengewoon ingewikkelde vergelijkingen zien leerlingen toch heel duidelijk het nut van het 'netjes opschrijven in stappen'.

Hoewel nader onderzoek nodig is³, durven we te zeggen dat – met de juiste instelling en randvoorwaarden – het gebruik van applets in de klas een grote meerwaarde heeft. Het is hierbij wel belangrijk dat de applets echt ingebed zijn in het onderwijs en er niet zomaar bij hangen. Pas dan kan er sprake zijn van echte meerwaarde. Het kost in het begin extra inspanning, maar daar krijg je wat voor terug: beter begrip bij de leerlingen, leukere lessen en op termijn zullen de baten de kosten overschrijden. Ten slotte nog een open vraag voor de wiskundegemeenschap, en wel een die al eerder geopperd, maar nooit besproken is: 'Wat is nu het doel van de wiskunde en in het bijzonder de algebra?' Een antwoord op deze vraag bepaalt mede waar het heengaat met computergebruik in de wiskundeles, want dat heeft te maken met een andere vraag, 'hoeveel doet de computer en hoeveel doet de mens?' Dit zijn vragen waar we in WELP geregeld tegenaanlopen, en waar we (nog) geen antwoorden op hebben.

Met dank aan Coos van der Dussen van het St. Michaël College te Zaandam.

*Christian Bokhove, St. Michaël College Zaandam
Martin van Reeuwijk, Freudenthal Instituut Utrecht*

Noten

- [1] Het WELP-project is een ICT-implementatieproject waarin kennis, ervaringen en applets die in het WisWeb-project zijn ontwikkeld en opgedaan, nu schoolbreed worden geïmplementeerd in de vorm van hoofdstukvervangend lesmateriaal dat gebruikmaakt van applets. Zie de website www.wisweb.nl
- [2] Zie de WisWeb-site waar vele lesobservaties zijn te vinden. Ook eerder gepubliceerde artikelen zijn via deze site te vinden.
- [3] Gelden voor een kortlopend onderzoek naar deze meerwaarde zijn onlangs toegekend.