

Toekomstbestendig Toetsen

ICT bij de centrale examens wiskunde havo/vwo

Rapport CvTE-commissie
Inzet ICT bij de centrale examens wiskunde havo/vwo

15-1-2018

Colofon

© 2018 CvTE
www.cvte.nl

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave.....	3
Samenvatting	5
1. Probleemstelling, opdracht en werkwijze	7
1.1 Wat is het probleem?	7
1.2 Opdracht.....	7
1.3 Werkwijze.....	8
2. Resultaten	9
2.1 Argumenten voor gebruik van ICT in de centrale examens wiskunde	9
2.2 Ontwikkelingen rond digitaal toetsen van wiskunde.....	10
2.3 Onderzoek en ervaringen.....	12
2.4 Scenario's voor korte en langere termijn.....	13
2.5 Organisatorische aspecten	14
3. Conclusies.....	16
3.1 Globale conclusies	16
3.2 Aanbevelingen voor korte termijn: try-out centrale examen met GeoGebra.....	16
3.3 Aanbevelingen voor de langere termijn.....	18
Referenties	19
Bijlagen.....	20
Bijlage 1: Samenstelling commissie	20
Bijlage 2: Overzicht functionaliteit van ICT voor wiskunde met uit- of ingeschakelde examenstand.....	21
Bijlage 3: Samenvatting vooronderzoek CITO	24
Bijlage 4: Ervaringen op scholen met toetsen met GeoGebra	27

SAMENVATTING

Sinds de curriculumherziening van 1998/1999 gebruiken leerlingen bij de eindexamens havo en vwo een grafische rekenmachine (GR). Geleidelijk aan zijn hiertegen bezwaren ontstaan. Dit is aanleiding geweest voor CvTE om een commissie in het leven te roepen die nagaat in hoeverre het mogelijk is om de GR te vervangen door andere ICT-middelen en in hoeverre de inzet van ICT bij de centrale examens wiskunde noodzakelijk is.

De commissie is in 2017 negen keer bijeengekomen om de argumentatie voor ICT-gebruik in centrale examens te onderzoeken, het gebruik van de GR in de recente eindexamens te analyseren, scenario's voor toetsing met ICT te verkennen, technische ontwikkelingen rond digitaal toetsen van wiskunde te onderzoeken, contacten te leggen met software-ontwikkelaars, een kleinschalig onderzoek te doen op scholen, en praktische en organisatorische aspecten in kaart te brengen.

De drie belangrijkste inhoudelijke argumenten voor het gebruik van ICT bij de centrale examens wiskunde van havo en vwo zijn naar de overtuiging van de commissie het anachronisme argument, het argument van de rijkere mogelijkheden en het argument van het uitbesteden. Ten aanzien van de vragen uit de opdracht van CvTE trekt de commissie de volgende globale conclusies.

1. *Onderzoek de inzet van Facet met GeoGebra bij een papieren examen op middellange termijn bij de centrale examens wiskunde A, B en C op havo en vwo als vervanging van de Grafische Rekenmachine.*

Op dit punt zijn de bevindingen positief. De commissie concludeert dat papieren toetsen en examens waarbij de leerlingen in plaats van de grafische rekenmachine software zoals GeoGebra gebruiken een goed begaanbare en wenselijke weg is. De eerste ervaringen met dit scenario op scholen (maar dan zonder de inbedding in Facet) zijn positief, zowel ten aanzien van de organisatielast voor scholen als de beleving door de leerlingen. Ook kostentechnisch lijkt deze aanpak voordelen te bieden omdat leerlingen geen GR meer hoeven aan te schaffen. Technologisch lijkt de ontwikkeling van Facet deze aanpak op een betrouwbare en veilige manier mogelijk te maken. De commissie beveelt dan ook aan om op korte termijn try-outs met dit scenario van start te laten gaan.

2. *Onderzoek ook in hoeverre het mogelijk is te differentiëren tussen wiskunde A/C en B op havo en vwo wat betreft inzet van ICT.*

De commissie concludeert dat het wellicht mogelijk, maar zonder meer ongewenst is om voor de diverse wiskundevakken een verschillend beleid te voeren ten aanzien van de toegestane ICT-middelen. Inhoudelijke redenen voor dergelijke verschillen zijn er niet, omdat in elk van de wiskundevakken ICT op een zinvolle manier het werken met pen en papier kan aanvullen. In de schoolorganisatie en naar leerlingen toe zou een dergelijke differentiatie tot onduidelijkheid kunnen leiden. Wel is er verschil tussen de diverse wiskundevakken wat betreft de verhouding tussen de papier-en-pen vaardigheden en de ICT-vaardigheden.

3. *Onderzoek tot slot de mogelijkheid in hoeverre het denkbaar is dat bij een centraal examen wiskunde B geen ICT meer ingezet wordt, afgezien van een gewone rekenmachine.*

Op basis van analyse van de argumentatie rond toetsen van wiskunde en ICT-gebruik, de wetgeving in Nederland en de huidige examenpraktijk vindt de commissie het ongewenst om bij wiskunde B (of een van de andere wiskundevakken) geen ICT in te zetten. Dit zou de huidige examenpraktijk terugzetten in de tijd.

Gelet op deze conclusies beveelt de commissie aan om op korte termijn een try-out te organiseren rond de afname van centrale examens wiskunde met GeoGebra in plaats van de grafische rekenmachine. De voorbereidingen hiervoor zouden in het voorjaar van 2018 voortvarend moeten worden aangepakt. Voor de langere termijn, dat wil zeggen na de uitvoering van de try-out in 2021, doet de commissie de volgende aanbevelingen.

- Evalueer de uitkomsten van de try-out met examens met GeoGebra en bouw deze, indien deze evaluatie positief is, uit tot pilots die gericht zijn op landelijke invoering van deze opzet.
- Onderzoek de mogelijkheid om ook andere software dan GeoGebra (denk aan Casio Classpad, TI-Nspire, of andere producten) binnen de BCLD-omgeving van Facet op te nemen, zoals dat ook in Finland is gebeurd. Dit lijkt een belangrijke ontwikkeling om te voorkomen dat de Nederlandse examenpraktijk te sterk afhankelijk wordt van één externe partner.
- Ga de haalbaarheid en wenselijkheid na van een centraal examen waarin een deel van de tijd alleen pen en papier worden gebruikt en een ander deel meer geavanceerde ICT-middelen zoals computeralgebra en dynamische meetkunde. Deze praktijk wordt gehanteerd in verschillende Scandinavische landen en bijvoorbeeld bij Europese scholen.

1. PROBLEEMSTELLING, OPDRACHT EN WERKWIJZE

1.1 Wat is het probleem?

Sinds de curriculumherziening van 1998/1999 gebruiken leerlingen bij de eindexamens havo en vwo een grafische rekenmachine (GR). Na aanvankelijk enthousiasme, ook bij de natuurwetenschappen en de economische vakken, ontstonden geleidelijk aan bezwaren in het veld, die samenhangen met de mogelijkheid om informatie op te slaan op de GR en de mogelijkheid om de functionaliteit van de machine uit te breiden door applicaties toe te voegen. Om aan deze bezwaren tegemoet te komen, is de GR niet langer toegestaan bij een aantal vakken en is voor wiskunde regelgeving ontwikkeld met betrekking tot het resetten van de machine dan wel het gebruik van de nieuw ontwikkelde examenstand. In januari 2014 heeft de clustermanager exact havo/vwo van het CvTE (toen nog CvE) de werkgroep Grafische Rekenmachine ingesteld met als opdracht de toekomst van ICT, en de grafische rekenmachine in het bijzonder, bij de centrale examens wiskunde van havo en vwo nader te onderzoeken. In het rapport deed de werkgroep behalve een aantal aanbevelingen voor de korte termijn met betrekking tot resetten, examenstand, toegestane typen en dergelijke, ook een aanbeveling voor de wat langere termijn:

Voor de lange termijn adviseert de werkgroep het CvTE om te streven naar volledig digitaal afgenomen centrale examens wiskunde havo-vwo. Omdat dit hoge eisen stelt aan de beschikbare hardware en software en tot een wezenlijk nieuwe examenpraktijk leidt, raadt de werkgroep het CvTE aan om al dit jaar een exploratief onderzoek naar deze mogelijkheid in gang te zetten.
(CvTE-werkgroep Grafische Rekenmachine, 2015, p. 26)

Dit laatste advies en het besef dat de GR in toenemende mate verouderd waar leerlingen steeds meer over laptops en tablets beschikken, is aanleiding geweest voor CvTE om een nieuwe commissie in te stellen, die met name als eerste stap onderzoekt in hoeverre de GR bij de centrale examens vervangen kan worden door een aangepaste versie van het programma GeoGebra dat als applicatie binnen de beveiligde omgeving van Facet zou draaien.

1.2 Opdracht

Om de bovenstaande kwestie nader te onderzoeken heeft het College voor Toetsen en Examens (CvTE) begin 2017 het initiatief genomen de commissie "Inzet ICT bij de centrale examens wiskunde havo/vwo" in te stellen. De hoofdtak van de commissie, als dus de opdracht van het CvTE, is:

Het CvTE input geven om tot een gefundeerd besluit te komen over het gebruik van ICT bij de centrale examens havo/vwo.

1. Onderzoek de inzet van Facet met GeoGebra bij een papieren examen op middellange termijn bij de centrale examens wiskunde A, B en C op havo en vwo als vervanging van de Grafische Rekenmachine.
2. Onderzoek ook in hoeverre het mogelijk is te differentiëren tussen wiskunde A/C en B op havo en vwo wat betreft inzet van ICT.
3. Onderzoek tot slot de mogelijkheid in hoeverre het denkbaar is dat bij een centraal examen wiskunde B geen ICT meer ingezet wordt, afgezien van een gewone rekenmachine.

Deze input moet inhoudelijk, organisatorisch en financieel-technisch van aard zijn. Een advies kan bestaan uit verschillende inhoudelijk, organisatorisch, financieel-technisch onderbouwde standpunten waarover het CvTE een besluit neemt.

In de commissie, die bestond uit elf personen aangevuld met een waarnemer van het CvTE, zaten leden van de CvTE vaststellingscommissies wiskunde AC en wiskunde B, toetsdeskundigen van het Cito en docenten,

van wie enkelen ervaring hebben met de pilotprogramma's voor de curriculumherziening van 2015. Voor de samenstelling van de commissie verwijzen we naar Bijlage 1.

1.3 Werkwijze

Voor de uitvoering van deze opdracht is de commissie in 2017 negen keer bijeengekomen en zijn de volgende stappen gezet.

- De argumentatie voor ICT-gebruik in centrale examens is onderzocht;
- Het gebruik van de GR in de recente eindexamens is geanalyseerd;
- Een aantal scenario's voor toetsing met ICT is verkend;
- De technische ontwikkelingen rond digitaal toetsen van wiskunde zijn onderzocht, en in het bijzonder die van Facet en de GeoGebra examenversie; in samenwerking met de software-ontwikkelaars van GeoGebra is een "GR-versie" van GeoGebra ontwikkeld;
- Er zijn contacten geweest met fabrikanten van rekenmachines en een bescheiden oriëntatie op de situatie in het buitenland heeft plaatsgevonden;
- Er is door Cito en op een aantal scholen van deelnemers van de commissie een kleinschalig ervaringsonderzoek uitgevoerd rond het toetsen met GeoGebra in plaats van de grafische rekenmachine;
- Praktische en organisatorische aspecten van het toetsen met GeoGebra in plaats van met de grafische rekenmachine zijn in kaart gebracht;
- Er is een concreet voorstel ontwikkeld voor een try-out en pilot met GeoGebra als vervanger van de grafische rekenmachine;
- Op financiële en juridische aspecten is de commissie nauwelijks ingegaan, aangezien dit buiten haar expertise valt.

De resultaten hiervan hebben geleid tot de voorliggende rapportage.

2. RESULTATEN

2.1 Argumenten voor gebruik van ICT in de centrale examens wiskunde

De eerste vraag die de commissie zich heeft gesteld is waarom het nodig is dat ICT-gebruik een rol speelt in de centrale examens wiskunde van havo en vwo. Om deze vraag te beantwoorden is een aantal gesprekken gevoerd, zijn documenten bestudeerd en heeft de commissie argumenten uitgewisseld en gewogen. Daarmee zijn tevens de tweede en derde vraag uit de opdracht geadresseerd, die betrekking hebben op differentiatie tussen de verschillende wiskundevakken en de wenselijkheid van een examen wiskunde B vwo met slechts een gewone rekenmachine.

De drie belangrijkste inhoudelijke argumenten voor het gebruik van ICT bij de centrale examens wiskunde en havo en vwo zijn volgens de commissie het anachronisme argument, het argument van de rijkere mogelijkheden, en het argument van het uitbesteden. Het anachronisme argument komt erop neer dat het onmiskenbaar is dat ICT een steeds grotere rol speelt in onze maatschappij, zowel in het privéleven van burgers als in de vervolgoopleidingen van studenten en in de beroepspraktijken van professionals. Eigentijds onderwijs dat hierop anticipeert zal dan ook in toenemende mate gebruik maken van de educatieve mogelijkheden van digitale technologie. Terugvallen op toetsing met pen en papier, waarin ICT geen rol speelt, is dan te beschouwen als een anachronisme, zou geen goede weergave zijn van het onderwijs dat daaraan is voorafgegaan, zou niet anticiperen op vervolgopleiding en beroep, en zou de uitstraling hebben met de rug naar de toekomst te staan. Dit beeld, en de uitstraling daarvan op de onderwijspraktijk, vindt de commissie onwenselijk (Drijvers, in druk).

Het argument van de *rijkere mogelijkheden* wijst erop dat toetsing met ICT het repertoire van typen vragen vergroot en daarmee ook het arsenaal aan vaardigheden verbreedt dat kan worden getoetst. Rijkere opgaven kunnen worden geformuleerd, doordat simulaties en animaties kunnen worden opgenomen. Leerlingen kunnen ICT gebruiken voor het tekenen van grafieken, het oplossen van vergelijkingen, of het exploreren van meetkundige situaties. Examens worden door dit grotere repertoire dynamischer en interactiever. Dit heeft een positieve weerslag op het onderwijs dat daaraan voorafgaat en waarin leerlingen vergelijkbare ICT-middelen gebruiken. Hierdoor kunnen de centrale examens aan validiteit winnen en worden toetsing en onderwijs beter met elkaar uitgelijnd (Drijvers, Ball, Barzel, Heid, Cao, & Maschietto, 2016).

Het derde argument ligt in het verlengde van het vorige en betreft de mogelijkheden die ICT biedt tot het *uitbesteden* van procedureel werk in het centraal examen. De doelen van het wiskundeonderwijs in havo en vwo stijgen uit boven het uitvoeren van procedures en routines en omvatten ook hogere orde vaardigheden zoals wiskundig redeneren, probleemoplossen en modelleren. Juist nu wiskundige denkactiviteiten een centralere plaats in de nieuwe wiskundecurricula hebben gekregen, zijn ICT-hulpmiddelen bij uitstek geschikt om het procedurele werk uit handen te nemen en ruimte te scheppen voor dergelijke hogere orde vaardigheden, die in toenemende mate centraal staan in maatschappij en beroepspraktijken. In de huidige examenpraktijk speelt de grafische rekenmachine tot op zekere hoogte deze rol: in de verschillende examens komen regelmatig toepassingsituaties aan de orde waarin de betreffende functies of vergelijkingen te bewerkelijk zijn om met de hand uit te voeren. Het werk kan worden uitbesteed aan het digitale gereedschap (Stacey & Wiliam, 2013).

Deze inhoudelijke argumenten zien we ook terug in de huidige wiskundecurricula. Eindterm A3 in de curricula voor wiskunde A, B, C en D van havo en vwo, tot stand gekomen na overleg binnen de vijf vernieuwingscommissies van de verschillende exacte vakken, luidt immers:

De kandidaat beheerst de bij het examenprogramma passende wiskundige vaardigheden, waaronder modelleren en algebraïseren, ordenen en structureren, analytisch denken en probleemoplossen, formules manipuleren, abstraheren, en logisch redeneren – en kan daarbij ICT

functioneel gebruiken.

(Zie bijvoorbeeld <https://www.examenblad.nl/examen/wiskunde-a-vwo-2/2018>)

Het gaat hier niet om een uitwerking van een eindterm in de syllabi, maar om het kerncurriculum zoals dit bij wet is vastgesteld. Een wijziging hiervan betreft dus een wezenlijke ingreep in het curriculum, die de commissie niet wenselijk acht en haar opdracht te boven zou gaan. Eerdere reacties van de gezamenlijke syllabuscommissies wijzen in dezelfde richting en pleiten voor het handhaven van een rol voor ICT in de centrale examens (CvTE syllabuscommissies, 2013).

Men zou nu terecht kunnen stellen dat handhaving in het curriculum niet toetsing via het centraal examen impliceert. Kan ICT-gebruik in praktijk niet beter in het schoolexamen worden getoetst? De commissie is van mening dat het schoolexamen inderdaad goede mogelijkheden biedt voor ICT-gebruik, zelfs op een manier die meer recht doet aan de mogelijkheden die digitale technologie biedt. Denk bijvoorbeeld aan praktische opdrachten, waarin leerlingen meer tijd hebben om de mogelijkheden van ICT te exploreren en te exploiteren. Ondanks dat is het vanwege de hierboven benoemde inhoudelijke argumenten niet wenselijk om ICT uit te bannen bij de centrale examens. Daarvan zou een verkeerde signaalwerking uitgaan, zoals eerder ook is aangegeven door de syllabuscommissies (CvTE syllabuscommissies, 2013). Tevens zou dit een trendbreuk zijn met de richting die sinds de invoering van de grafische rekenmachine in 1999 is ingeslagen. Ten slotte stelt de commissie dat het opnemen van ICT in de centraal examens de beste manier is om een betekenisvolle plaats van ICT in het onderwijs te garanderen.

Bovenstaande inhoudelijke en meer praktische overwegingen gelden onverkort voor alle wiskundevakken van havo en vwo. De analyse van de pilotexamens sinds 2011 laat zien dat de grafische rekenmachine in de examens van alle wiskundevakken een rol speelt. Onmisbaar is de GR bij opgaven die niet “mooi uitkomen” of waarin modellen en formules in toepassingen aan de orde komen die de leerling niet met de hand kan verwerken. ICT wordt tijdens het examen dan ook veel gebruikt, is de indruk van de docenten binnen de commissie, niet alleen waar het strikt noodzakelijk is, maar ook als middel voor controle of visualisatie. Daarom ziet de commissie geen reden om voor de verschillende vakken verschillende regelingen te treffen; in de schoolorganisatie en naar leerlingen toe zou een dergelijke differentiatie tot onduidelijkheid kunnen leiden. Overigens zou – bij gelijkblijvende opzet en inhoud - de meerwaarde van ICT bij het centrale examen groter worden als rijkere ICT-middelen worden gebruikt dan de huidige grafische rekenmachine. Denk bijvoorbeeld aan de rol van ICT als onderzoeksinstrument in denkactiverende wiskundeopgaven, of als hulpmiddel om bijvoorbeeld meetkundige probleemsituaties inzichtelijker te maken. De beschikbaarheid van rijkere ICT zou tot meer denkactieve opgaven in de centrale examens kunnen leiden.

Samengevat is er reden om ICT in de centrale examens wiskunde havo/vwo te gebruiken en zijn er daarbij geen wezenlijke verschillen tussen de diverse wiskundevakken. Het antwoord op de tweede vraag uit de taakstelling van de commissie, in hoeverre het mogelijk is te differentiëren tussen wiskunde A/C en B op havo en vwo wat betreft inzet van ICT, is dan ook dat het wellicht wel mogelijk is, maar niet wenselijk. Hetzelfde geldt voor de derde vraag, of het denkbaar is dat bij een centraal examen wiskunde B geen ICT meer ingezet wordt, afgezien van een gewone rekenmachine. Ook hier geldt dat het wellicht denkbaar en mogelijk is, maar niet als wenselijk wordt beschouwd vanuit de huidige curricula en de inhoudelijke argumenten. Een optie die in een aantal landen wordt gehanteerd, is om een examen te organiseren in twee delen, een eerste deel waarin de papier-en-pen vaardigheden van leerlingen worden getoetst zonder enige vorm van ICT, en een tweede deel waarin de leerling wel toegang heeft tot ICT. In paragraaf 2.4 komt een dergelijk scenario verder aan de orde.

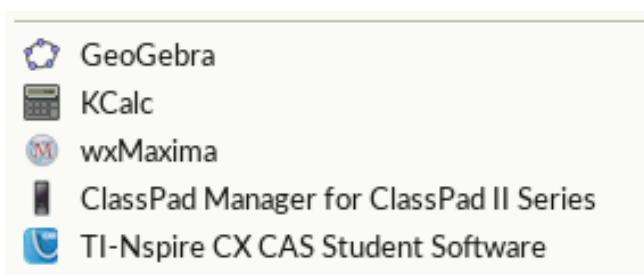
2.2 Ontwikkelingen rond digitaal toetsen van wiskunde

In deze paragraaf schetsen we het “landschap” van de ontwikkelingen rond digitale toetsing in het algemeen en rond wiskunde in het bijzonder. Deze ontwikkelingen vinden internationaal plaats. We schetsen ook de ontwikkelingen rond de digitalisering van de centrale examens in Nederland.

Een eerste, internationale ontwikkeling die alle vakken betreft, is de zogeheten Bring-Your-Own-Device policy (BYOD) die meer en meer lijkt te worden toegepast. Leerlingen beschikken in toenemende mate over ICT die in het onderwijs kan worden gebruikt. Na de (grafische) rekenmachine en computerlokalen met PC's werden en worden laptops, tablets en browsergeoriënteerde apparaten (zoals Chromebooks) gemeengoed. Scholen spelen hier in toenemende mate op in met dit BYOD-beleid. Kort gezegd komt dit beleid erop neer dat leerlingen zelf verantwoordelijk zijn voor hun eigen digitale gereedschap, binnen de door de school gestelde kaders. Het voordeel hiervan voor de school zijn de hieraan zeer beperkte kosten. Verder heeft de schoolorganisatie geen zorgen over beheer en onderhoud van de grote aantallen apparaten voor leerlingen. De leerling kan op een "eigen" apparaat werken met alle voordelen van verantwoordelijkheidsgevoel en gewenning. Voorwaarde is dat de school zorg draagt voor een krachtige internetverbinding en een betrouwbaar draadloos netwerk van voldoende capaciteit. Verder komt de coördinatie van onderhoud en beschikbaarheid van powerbanks en/of reserveapparaten voor rekening van de school. Een mogelijk bezwaar tegen de BYOD-oplossing is dat apparaten van leerlingen onderling verschillen in hardware, operatingsystem en toepassingssoftware. Dit kan de examenconstructie bemoeilijken: examenconstructeurs en vaststellingscommissies weten onvoldoende over welk gereedschap de leerling beschikt en dus kan er mogelijk ongelijkheid tussen leerlingen ontstaan.

Een tweede, ook internationaal in gebruik zijnde, ontwikkeling komt echter aan dit bezwaar tegemoet: die van de Bootable Client Lockdown (BCLD). Deze technische voorziening, bijvoorbeeld in de vorm van een USB drive, laadt bij het opstarten een ander besturingssysteem in het geheugen van het apparaat. Hierdoor worden de mogelijkheden van het apparaat beperkt tot precies die mogelijkheden die de ontwikkelaar heeft toegestaan. Elke leerling kan precies hetzelfde, ongeacht het apparaat dat hij of zij heeft meegebracht. Het apparaat met BCLD is afgesloten, staat geen (of slechts gecontroleerde en beperkte) internettoegang en communicatie toe en heeft een hoog beveiligingsniveau, waardoor hacken bijzonder moeilijk is.

Binnen een gestandaardiseerde en beperkte BCLD-omgeving kunnen verschillende wiskundige tools beschikbaar worden gesteld. Deze verschillende pakketten binnen de BCLD identiek aan de software die de leerling tijdens de schoolloopbaan ook los van de examensoftware kan gebruiken. Het precieze aanbod van software kan bij toepassing van BCLD overigens eenvoudig worden aangepast en zou in principe van jaar tot jaar kunnen worden verbeterd. Een voorbeeld van deze aanpak is ontwikkeld in Finland, waar een BCLD-omgeving wordt gebruikt onder de naam Abitti (<https://www.abitti.fi/>). Binnen deze omgeving kan de leerling ervoor kiezen om onder andere GeoGebra, Maxima, Casio Classpad of TI-Nspire te gebruiken (zie Figuur 1). Deze verschillende pakketten zijn nu dus ingebed in de BCLD-omgeving, maar zijn verder identiek aan de software die de leerling tijdens de schoolloopbaan ook los van de examensoftware kan gebruiken. Het precieze aanbod van software binnen de Abitti-omgeving kan overigens eenvoudig worden aangepast en zou in principe van jaar tot jaar kunnen veranderen.



Figuur 1: Wiskundige ICT in de Finse Abitti afspeelomgeving (<https://www.abitti.fi/>)

Terwijl bij BCLD alle software wordt geïnstalleerd op het (leerling)apparaat, is er ook een variëte oplossing waarbij alleen een browser of afspeler op het leerlingapparaat wordt geïnstalleerd, terwijl de verschillende (wiskundige) pakketten op een (meestal buiten de school opgestelde) server toegankelijk zijn. Tijdens de toets of het examen is er vrijwel voortdurend communicatie via netwerk of internet tussen het

leerlingapparaat en de server. Voordeel van dit zogeheten client/server systeem ten opzichte van BCLD is dat de wiskundige software maar op één plaats geïnstalleerd hoeft te worden. Nadeel is dat de servers en de toegang daartoe bijzonder betrouwbaar moeten zijn, wat gepaard gaat met aanzienlijke kosten.

De ontwikkelingen in Nederland sluiten grotendeels aan bij de internationale trends. De afspeelomgeving van CvTE, Facet, heeft een grote ontwikkeling doorgemaakt. Ook Facet kent voorzieningen voor client/server (met de keuze voor installatie van de server in de school of gebruik van een server buiten school) en BCLD. Bij de Rekentoets VO en de CBT-examens wiskunde vmbo is veel ervaring opgedaan met de afspeelomgeving. Het CBT voor wiskunde vmbo omvat open vragen die op het niveau van tussenstappen door de docent worden beoordeeld. De leerlingen gebruiken een zogeheten toolbox voor wiskundige opties. Specifiek voor wiskunde in de Diagnostische Tussentijdse Toets is Facet uitgebreid met een formule-editor, met GeoGebra en met delen van de Digitale Wiskundeomgeving; daarnaast is Maxima beschikbaar voor de automatische beoordeling van algebraïsche formules. Wat betreft GeoGebra is in nauwe samenwerking met de ontwikkelaars in Oostenrijk een versie ontwikkeld die qua mogelijkheden sterk lijkt op de grafische rekenmachine, al is de interface natuurlijk zeer verschillend. Deze "GR-versie" van GeoGebra zou binnen Facet beschikbaar moeten zijn naast de huidige, volledige versie. De auteurs van GeoGebra zijn bereid om hiervoor handvatten te bieden.

De conclusie uit deze schets van de ontwikkelingen is dat de tijd rijp is voor nieuwe stappen met betrekking tot de inzet van ICT in het toetsen van wiskunde. De ontwikkelingen van zowel Facet als GeoGebra zijn in lijn met de trends en zijn zodanig dat een try-out met deze twee producten als vertrekpunt aan de orde lijkt. Dit wordt nader uitgewerkt in paragraaf 3.2. GeoGebra, dat inhoudelijk en qua bediening sterke punten kent en zeer populair is in het veld, wordt expliciet genoemd in de opdracht aan de commissie. Toch lijkt het op termijn niet verstandig om uit te gaan van slechts één product en is het goed om te benadrukken dat er alternatieven zijn, waaronder TI-Nspire, Casio Classpad en Desmos. Nader onderzoek naar deze alternatieven is nog nodig, al stelt een grote variëteit aan tools wel hoge eisen aan de docent, die immers met verschillende omgevingen vertrouwd moet zijn. Voor de keuze van software die op langere termijn in Facet opgenomen zou kunnen worden, ligt een aantal criteria qua wiskundige functionaliteit voor de hand. Bijlage 2 somt een aantal functionaliteiten op van toegestane GR's en GeoGebra die aanzet vormen tot deze criteria. Daarnaast zijn gebruikersvriendelijkheid, alsmede technische en juridische aspecten criteria om in de afwegingen te betrekken. De technische en juridische aspecten hebben wij buiten beschouwing moeten laten.

2.3 Onderzoek en ervaringen

Naast een inventarisatie van ontwikkelingen rond digitaal toetsen, is er natuurlijk ook onderzoek nodig naar de ervaringen in de onderwijspraktijk met het gebruik van andere ICT-middelen dan de grafische rekenmachine. Een eerste opmerking hierbij is dat digitaal toetsen op verschillende manieren kan worden vormgegeven. Denk aan het toestaan van gebruik van een (grafische) rekenmachine of wiskundige software, het digitaal ter beschikking stellen van opgaven, het opnemen van (interactieve) animaties, het digitaal invoeren van antwoorden en uitwerkingen, en het automatisch beoordelen van antwoorden en uitwerkingen.

In de literatuur wordt in dit verband onderscheid gemaakt tussen toetsen met ICT en toetsen door ICT (Drijvers, Ball, Barzel, Heid, Cao, & Maschietto, 2016; Stacey, & William, 2013). Bij toetsen met ICT gaat het om een min of meer klassieke toets met pen en papier, waarbij de leerlingen ICT-hulpmiddelen kunnen gebruiken. Dit is dus de huidige situatie bij de centrale eindexamens wiskunde met de GR. Bij toetsen door ICT wordt de **toets** ook afgenomen via een digitale afspeelomgeving, waarin de leerlingen hun antwoorden, tussenstappen en oplossingsmethode invoeren. De rekentoets VO en het CBT-examen wiskunde vmbo zijn hiervan voorbeelden.

In het geval van de centrale examens waarin de GR vervangen zou worden door GeoGebra, afgespeeld binnen Facet, blijven we in principe toetsen met ICT; tegelijkertijd opent dit voorzichtig de weg naar toetsen door ICT, wanneer we Facet ook als invoeromgeving zouden gaan gebruiken. In termen van het

onderscheid met en door ICT betreft de opdracht van CvTE aan de commissie met name het toetsen met ICT. Dit neemt niet weg dat de scheidslijn vager aan het worden is en dat op termijn ook de vraag naar toetsen door ICT opkomt.

Een eerste studie naar de ervaringen met GeoGebra als vervanger van de GR is uitgevoerd in het kader van de onderzoeksagenda van de afdeling Centrale Toetsen en Examens van Cito in combinatie met een UU-masteronderzoek (Van Stiphout, Claus, & Remijn, 2018; Van Woudenberg, 2017). In dit onderzoek hebben zes klassen vwo-4 in een drietal lessen met GeoGebra gewerkt in plaats van met de grafische rekenmachine. De derde les was een toetsles. De conclusies, die worden samengevat in Bijlage 3, zijn (1) dat de leerlingen die de toets maakten met GeoGebra de grafieken beter in beeld kregen, (2) dat veel leerlingen nog wel een voorkeur hadden voor hun GR, maar dat dit snel veranderde naarmate ze GeoGebra meer gebruikten, en (3) dat leerlingen de GeoGebra-varianten van de gangbare GR-technieken snel onder de knie kregen.

In het verlengde van dit onderzoek is een aantal hands-on ervaringen opgedaan op de scholen van leden van de commissie. Op deze scholen is GeoGebra gebruikt als vervanger voor de GR in lessen en toetsen. Verschillen met het hiervoor genoemde onderzoek zijn dat de leerlingen gedurende een groter aantal lessen zijn getraind in het gebruik van GeoGebra en dat de resultaten van de afgenomen toets wel meetelden voor het rapport. Verder heeft er geen wetenschappelijk verantwoorde evaluatie plaatsgevonden. Globaal gesproken zijn deze ervaringen positief: Leerlingen en docenten blijken hiermee goed uit de voeten te kunnen. Praktisch en organisatorisch blijkt het goed mogelijk om de GR door GeoGebra te vervangen bij het toetsen van wiskunde. Bijlage 4 geeft een beschrijving van dergelijke ervaringen in meer detail.

2.4 Scenario's voor korte en langere termijn

Omdat de commissie de opdracht van CvTE ook wat breder wil opvatten, is een aantal scenario's voor ICT-gebruik bij het centraal examen onderscheiden en besproken. Het gaat om het volgende zevental scenario's.

1. Geen rekenmachine of andere ICT
In dit scenario gebruiken de leerlingen geen enkele vorm van ICT bij het centraal examen, zelfs geen wetenschappelijk rekenmachine.
2. Een wetenschappelijke, niet-grafische rekenmachine
In dit scenario gebruiken de leerlingen een wetenschappelijk rekenmachine bij het CE, met een solver voor het oplossen van vergelijkingen, een exacte breukenmodus, een meerregelig scherm, tweedimensionale weergave van formules, functies voor het berekenen van normale en binomiale kansen, en tabellen van functiewaarden. De grens voor dergelijke machines zou eenduidig moeten worden vastgesteld, bijvoorbeeld door het tekenen van grafieken, numerieke differentiatie en integratie en het inlezen van aanvullende apps te verbieden.
3. Een grafische rekenmachine in examenstand
De grafische rekenmachine is toegestaan, maar alleen in examenstand. Dat wil zeggen dat de GR tijdelijk wordt teruggezet in de fabrieksstand, waardoor aanvullende applicaties, programma's of teksten niet meer toegankelijk of zelfs gewist zijn. In dit scenario kunnen ook CAS-machines, die in examenstand worden beperkt tot GR-functionaliteit, worden toegestaan.
4. GeoGebra binnen Facet
In dit scenario gebruiken de leerlingen tijdens het examen GeoGebra binnen de BCLD van Facet. Dat kan gebeuren via een computer van school, of via een eigen device. Binnen Facet draait de

examenversie van GeoGebra, die qua functionaliteit veel lijkt op de grafische rekenmachine. Een variant hierop is dat een BCLD met GeoGebra wordt ontwikkeld zonder Facet.

5. Een specifiek repertoire aan digitale wiskundetools
In dit scenario hebben leerlingen, via schoolcomputer of eigen device, toegang tot een specifiek arsenaal aan digitale wiskundetools, inclusief de gangbare mogelijkheden van de grafische rekenmachine, computeralgebra en dynamische meetkunde.
6. Een examen met een papier-en-pen deel en een ICT-deel
Dit scenario voorziet in een examen waarin leerlingen een deel van de tijd geen beschikking hebben over ICT en de opgaven met pen en papier maken (cf scenario 1 hierboven), en een deel van de tijd wel over een rijk arsenaal aan ICT beschikken volgens scenario 5. Dit tweetrapsmodel wordt bijvoorbeeld gehanteerd in een aantal Scandinavische landen en de door de Europese Unie opgerichte Europese scholen.
7. Een digitaal examen
Dit scenario voorziet in een geheel digitaal afgenomen centraal examen, zoals momenteel al de situatie is bij wiskunde voor vmbo. Het is een papierloos examen binnen een beveiligde omgeving zoals Facet. Daarbinnen kunnen wiskundige hulpmiddelen (een emulatie van een GR, een meetkundeprogramma en/of computeralgebra software) beschikbaar worden gesteld.

Bij het overwegen van deze scenario's is het uitgangspunt van de commissie dat zowel papier-en-pen vaardigheden als ICT-vaardigheden een plaats verdienen in het centraal examen. Beide vormen immers twee kanten van dezelfde medaille van wiskundige vaardigheden. Daarom pleit de commissie op termijn voor een examen waarin zowel papier-en-pen vaardigheden als ICT-vaardigheden aan de orde komen, en daarmee dus een ontwikkeling gericht op scenario 6 (of in een later stadium 7). Een dergelijke splitsing komt zowel tegemoet aan de wens om papier-en-pen vaardigheden te toetsen, als aan de wens om meer eigentijdse ICT dan de huidige grafische rekenmachine in de examinering een rol te laten spelen. Bijkomend voordeel van dit model is dat de huidige kunstmatige constructie met de specifieke betekenis van de zogeheten examenwerkwoorden kan worden verlaten. Verder merken we op dat de mate waarin papier-en-pen vaardigheden in het centraal examen worden getoetst per wiskundevak verschilt, en dat dit bij wiskunde B van vwo bijvoorbeeld veel sterker van toepassing is dan bij wiskunde A van havo, in elk geval bij de huidige examenprogramma's.

Een dergelijk tweetrapsmodel heeft praktische en organisatorische consequenties en vraagt om zorgvuldige ontwikkeling die tijd nodig heeft. Als eerst stap in deze richting op korte termijn stelt de commissie dan ook voor scenario 4, waarin GeoGebra als vervanger functioneert voor de GR via Facet en/of BCLD, als gewenste ontwikkeling. De commissie beveelt dan ook aan om in 2018 een try-out in gang te zetten waarin GeoGebra bij het centrale examen wordt ingezet in plaats van de GR. In paragraaf 3.2 wordt dit nader uitgewerkt.

2.5 Organisatorische aspecten

In deze paragraaf bespreken we de gevolgen voor de schoolorganisatie van de invoering van GeoGebra als vervanger van de GR bij het centrale examen. Uit gesprekken met enkele betrokkenen in de schoolorganisatie (rector, examensecretaris, systeembeheerder) is de indruk dat men geen onoverkomelijke financiële of praktische bezwaren ziet in het gebruik van tablets of laptops bij de afname van het centrale examen. Wel valt te overwegen om de afname van de verschillende wiskundevakken voor havo en vwo niet gelijktijdig te doen plaatsvinden. Gezien de ontwikkeling bij het invoeren van digitaal lesmateriaal – en het daaraan gekoppelde gebruik van ICT in de klas – is de verwachting uitgesproken dat binnen enkele jaren elke leerling tijdens de lessen de beschikking heeft over een tablet danwel een laptop. De juridische vraag is wel of een school de leerlingen mag verplichten een tablet of laptop aan te schaffen. Mocht een school leerlingen dat niet kunnen verplichten, dan ziet men ook nog wel mogelijkheden om als school een set (goedkopere) apparaten aan te schaffen die gebruikt kunnen worden bij toetsen en het

centraal examen. Voor de financiering hiervan wordt wel met een schuin oog naar het ministerie gekeken. Daarnaast zou het wenselijk zijn dat ook andere vakken gebruik gaan maken van ICT bij het examen, omdat dit de school uitgaven ten behoeve van bijvoorbeeld atlanten en tabellenboekjes zou besparen.

Daarnaast is een aantal praktische aspecten belicht van het gebruik van GeoGebra als vervanger van de GR bij het centraal examen en bij het gebruik bij toetsen in de klas:

- Bij gebruik van beeldschermen die rechtop staan zal het lastiger worden om afkijken tegen te gaan cq. te voorkomen. Er wordt voor gepleit om alleen die apparaten toe te staan waarbij het beeldscherm horizontaal op de tafel komt te liggen. Daarnaast zullen de tafels van de examenkandidaten verder uit elkaar gezet dienen te worden, waardoor er misschien ruimteproblemen zullen ontstaan. Als mogelijke oplossing bij het gebruik van laptops wordt het aanschaffen van privacyfilters gezien. Met deze privacyfilters kan de gebruiker de informatie op het scherm duidelijk zien, terwijl anderen alleen een zwart scherm zien; daarnaast suggereren de ervaringen op de scholen dat het gevaar van aflezen van relevante informatie beperkt is.
- De beschikbare ruimte op de tafels zal drastisch worden beperkt als er naast toetspapier en opgaven- en uitwerkingenboekjes ook nog ruimte moet worden gemaakt voor de ICT-apparatuur. Als mogelijke oplossing wordt gezien dat ook de opgaven digitaal worden aangeboden. Dit laatste kan ook voordelen opleveren voor leerlingen die dyslectisch zijn of zichtbeperkingen hebben.
- Er zullen powerbanks aangeschaft moeten worden om te voorkomen dat de apparatuur tijdens de toets 'leeg' raakt. Scholen waar al gewerkt wordt met GeoGebra tijdens toetsen, hebben de ervaring dat dit niet nodig zal zijn. Het gebruik van desktops ziet men niet als reële mogelijkheid omdat dit te veel bekabelingsproblemen met zich mee brengt. Als meerdere vakken gebruik gaan maken van ICT-apparatuur dan kan het opladen van de batterijen/accu's tussen twee zittingen van het centrale examen problemen geven omdat er te weinig stopcontacten beschikbaar zijn.
- Facet zal ook buiten het centrale examen beschikbaar moeten zijn voor de scholen om leerlingen en de schoolorganisatie de gelegenheid te geven te wennen aan Facet en daarmee te oefenen in toetsituaties.
- Ondanks de garantie dat Facet communicatie met de buitenwereld onmogelijk maakt, blijven er zorgen of leerlingen toch geen mogelijkheden zien dit te omzeilen, door bijvoorbeeld de tablet tussentijds even uit te zetten en vervolgens weer op te starten zonder Facet.

3. CONCLUSIES

3.1 Globale conclusies

Op basis van de bovenstaande resultaten trekken we met betrekking tot de vragen uit de opdracht van CvTE de volgende globale conclusies.

1. *Onderzoek de inzet van Facet met GeoGebra bij een papieren examen op middellange termijn bij de centrale examens wiskunde A, B en C op havo en vwo als vervanging van de Grafische Rekenmachine.*

Op dit punt zijn de bevindingen positief. De commissie concludeert dat papieren toetsen en examens waarbij de leerlingen in plaats van de grafische rekenmachine software zoals GeoGebra gebruiken een goed begaanbare en wenselijke weg is. De eerste ervaringen met dit scenario op scholen (maar dan zonder de inbedding in Facet) zijn positief, zowel ten aanzien van de organisatielast voor scholen als de beleving door de leerlingen. Ook kostentechnisch lijkt deze aanpak voordelen te bieden omdat leerlingen geen GR meer hoeven aan te schaffen. Technologisch lijkt de ontwikkeling van Facet deze aanpak op een betrouwbare en veilige manier mogelijk te maken. De commissie beveelt dan ook aan om op korte termijn try-outs met dit scenario van start te laten gaan.

2. *Onderzoek ook in hoeverre het mogelijk is te differentiëren tussen wiskunde A/C en B op havo en vwo wat betreft inzet van ICT.*

De commissie concludeert dat het wellicht mogelijk, maar zonder meer ongewenst is om voor de diverse wiskundevakken een verschillend beleid te voeren ten aanzien van de toegestane ICT-middelen. Inhoudelijke redenen voor dergelijke verschillen zijn er niet, omdat in elk van de wiskundevakken ICT op een zinvolle manier het werken met pen en papier kan aanvullen. In de schoolorganisatie en naar leerlingen toe zou een dergelijke differentiatie tot onduidelijkheid kunnen leiden. Wel is er verschil tussen de diverse wiskundevakken wat betreft de verhouding tussen de papier-en-pen vaardigheden en de ICT-vaardigheden.

3. *Onderzoek tot slot de mogelijkheid in hoeverre het denkbaar is dat bij een centraal examen wiskunde B geen ICT meer ingezet wordt, afgezien van een gewone rekenmachine.*

Op basis van analyse van de argumentatie rond toetsen van wiskunde en ICT-gebruik, de wetgeving in Nederland en de huidige examenpraktijk vindt de commissie het ongewenst om bij wiskunde B (of een van de andere wiskundevakken) geen ICT in te zetten. Dit zou de huidige examenpraktijk terugzetten in de tijd.

3.2 Aanbevelingen voor korte termijn: try-out centrale examen met GeoGebra

Gelet op de conclusies in de vorige paragraaf en in het verlengde van de ervaringen op scholen beveelt de commissie aan om op korte termijn een try-out te organiseren rond de afname van centrale examens wiskunde met GeoGebra in plaats van de grafische rekenmachine. Om verschillende redenen is de tijd rijp voor een dergelijke kleinschalige try-out, mogelijk gevolgd door een pilot:

- In experimenten met GeoGebra in verschillende vwo-4 klassen (Van Woudenberg, 2017) is gebleken dat het programma GeoGebra bij de leerlingen weinig problemen oplevert.
- Het programma is zowel offline als online op diverse platforms beschikbaar, waardoor het gemakkelijk mogelijk is de GR in de wiskundelessen te vervangen door GeoGebra.
- Op basis van specificaties van toetsdeskundigen van Cito is GeoGebra door de bouwers ervan aangepast aan de mogelijkheden van de grafische rekenmachine, waardoor deze GeoGebra versie inhoudelijk niet afwijkt van de grafische rekenmachine.

- CvTE heeft een licentieovereenkomst met GeoGebra voor het onderzoeken van het gebruik bij de centrale examens wiskunde havo/vwo.
- GeoGebra is inmiddels binnen Facet beschikbaar. De ontwikkelaars van GeoGebra zijn bereid om mee te werken aan de implementatie van een offline examenversie van GeoGebra in Facet.

Het *doel* van de try-out is om na te gaan of het gebruik van GeoGebra binnen Facet als vervanging van de GR bij het centrale eindexamen wiskunde een geschikte en werkbare optie is in de ogen van kandidaten, examinatoren en scholen.

De *deelnemers* bestaan uit leerlingen van een kleine groep scholen (3-5) die op vrijwillige basis deelnemen. In het schooljaar 2017-2018 zijn enkele scholen op eigen initiatief in vwo-4 gestart zonder de GR op de boekenlijst. Deze leerlingen gebruiken bij het vak wiskunde het hulpmiddel GeoGebra. In 2020 zullen deze leerlingen examen doen. Er zijn contacten met dergelijke scholen en een informele peiling heeft opgeleverd dat er belangstelling bestaat voor deelname aan een dergelijke try-out. Werving zou in het vroege voorjaar van 2018 moeten plaatsvinden. De try-out betreft alle examens wiskunde havo en vwo.

De *inhoudelijke uitvoering* heeft geen gevolgen voor de vorm en inhoud van de examens wiskunde. De leerlingen gebruiken het reguliere papieren examenboekje en beantwoorden de vragen op papier. Het gaat dus om een verruiming van de Regeling hulpmiddelen door GeoGebra (in de Nederlandse examenstand) in Facet toe te staan. Deelnemende scholen krijgen een handreiking met betrekking op de manier waarop de handelingen in GeoGebra op papier worden beschreven.

De *technische uitvoering* van de try-out gebeurt met behulp van Facet. De deelnemende kandidaten gebruiken een (door de leerling zelf meegebracht) device met een BCLD-voorziening die een Facet-pagina geeft met daarbinnen de Nederlandse examenversie van GeoGebra. Deze GeoGebra versie moet ruim voor afname van het examen beschikbaar zijn en ook op de oefensite oefenen.facet.onl staan. Bij het examen wordt GeoGebra aangeboden in Facet. Er zijn feitelijk geen storingsen te verwachten, aangezien er geen dataverkeer zal plaatsvinden tijdens de afname van het examen. Een alternatief voor deze aanpak is om een BCLD te gebruiken die alleen GeoGebra bevat zonder Facet. Als er met een van deze twee scenario's technische problemen optreden kan als *fall-back* de door GeoGebra gemaakte beveiligde examenversie worden gebruikt, waarmee de computer of tablet van de kandidaat uitsluitend toegang tot GeoGebra heeft. Hoewel de ontwikkelaars van GeoGebra werken aan beveiligde examenversies die op allerlei platforms (Windows, MacBook, Chrome en ook Android, Ipad) kunnen worden gebruikt, kiezen we voor Facet, omdat scholen bekend zijn met Facet en de veiligheid van Facet verzekerd is.

De *organisatorische uitvoering* houdt onder andere in dat de deelnemende scholen voorzieningen treffen voor uitval van devices (een paar reserve en enkele powerbanks) en voor een opstelling waarbij het afkijken van schermen wordt vermeden. Daarnaast kunnen grafische rekenmachines achter de hand worden gehouden of kan de examenversie van GeoGebra mogelijk buiten Facet om als back-up worden gebruikt.

Het *tijdpad* wordt nader uitgewerkt in Tabel 1 hieronder. Cruciaal is dat een besluit om deze try-out in mei 2020 te laten plaatsvinden al in het voorjaar van 2018 moet worden genomen. Op dat moment worden de boekenlijsten op de scholen vastgesteld. De scholen die in het schooljaar 2017-2018 zonder GR hebben gewerkt in vwo-4 kunnen dan besluiten om mee te doen aan de try-out. Deze leerlingen hoeven niet alsnog een GR aan te schaffen. Scholen die willen deelnemen aan de try-out voor havo hoeven dan in het schooljaar 2018-2019 door hun leerlingen van havo-4 geen GR meer te laten aanschaffen.

De *monitoring* zou kunnen plaatsvinden via interviews met en/of enquêtes onder leerlingen, docenten en examensecretarissen. Uitvoering hiervan zou wellicht via een CTE-onderzoek van Cito en/of een master-onderzoek van een student van de Universiteit Utrecht kunnen plaatsvinden.

Bij goed verloop van een en ander zal het vervolg bestaan uit een tweede try-out voor dezelfde scholen in mei 2021, en een pilot voor een groter aantal scholen op vrijwillige basis vanaf mei 2022. Het is niet

ondenkbaar dat veel scholen voor deze pilot zullen kiezen. Voor de pilot vwo zal de regeling al in de septembermededelingen van 2018 moeten worden opgenomen; voor havo kan dit een jaar later. Op deze manier vindt geleidelijke groei naar landelijke implementatie plaats en zou tot afschaffing van de GR als toegestaan hulpmiddel kunnen worden besloten.

Tabel 1: Tijdenplan implementatieplan tot mei 2020

Wie	Wat	Wanneer	Resultaat
CvTE-commissie	De specificaties voor de NL-examenstand van GeoGebra formuleren.	Najaar 2017	Specificaties voor de NL-examenstand van GeoGebra
CvTE (sectormanager VO)	Besluit om try-out traject te starten en in de examens 2020 uit te voeren.	Februari 2018	Besluit
CvTE (afdeling computerexamens ism met clustermanager havo/vwo exact)	Een projectgroep instellen rond zowel inhoudelijke, technische als juridische aspecten. Doel: de juiste versie van GeoGebra in Facet implementeren en juridisch afdichten.	Voorjaar 2018	Projectgroep met opdracht en tijd. Deze groep is stuurt de voorbereiding en uitvoering van de try-out aan.
CvTE (afdeling computerexamens)	Opdracht aan Citrus te inventariseren hoeveel werk het is om aanpassingen in Facet te realiseren.	Voorjaar 2018	Opdracht aan Citrus
Citrus	Uitvoering onderzoekje hoeveelheid werk aanpassingen. Dit wordt in uren uitgedrukt.	Voorjaar 2018	Urenschatting Citrus
CvTE (afdeling computerexamens)	Opdracht aan Citrus aanpassingen in Facet 7.0 te realiseren.	Voorjaar 2018	Op basis van ureninschatting.
CvTE / Cito toetsdeskundigen	Werving try-out 2020.	Voorjaar 2018	3-10 scholen voor try-out 2020 (havo en vwo)
Projectgroep CvTE	Onderzoek technische en juridische aspecten.	Najaar 2018	Technische en juridische voorzieningen.
CvTE / DUO	Publicatie van GeoGebra in Facet op de oefensite	Februari 2019	-
CvTE / Cito toetsdeskundigen	Werving try-out 2021	Voorjaar 2019	3-10 scholen voor try-out 2021 (dezelfde als eerste tranche?)
Cito toetsdeskundigen	Schrijven van artikel (voor Euclides?) om de try-out aan te kondigen.	Najaar 2019	Artikel Euclides
Cito toetsdeskundigen	Voorbereiden instrumenten om try-out te monitoren	Najaar 2019	Monitoringsinstrumenten
Projectgroep CvTE	Uitvoering try-out 2020	Mei 2020	Try-out uitvoering

3.3 Aanbevelingen voor de langere termijn

Voor de langere termijn, dat wil zeggen na de uitvoering van de try-out in 2021, doet de commissie de volgende aanbevelingen.

- Evalueer de uitkomsten van de try-out met examens met GeoGebra en bouw deze, indien deze evaluatie positief is, uit tot pilots die gericht zijn op landelijke invoering van deze opzet.
- Onderzoek de mogelijkheid om ook andere software dan GeoGebra (denk aan Casio Classpad, TI-Nspire, of andere producten) binnen de BCLD-omgeving van Facet op te nemen, zoals dat ook in Finland is gebeurd. Dit lijkt een belangrijke ontwikkeling om te voorkomen dat de Nederlandse examenpraktijk te sterk afhankelijk wordt van één externe partner.
- Ga de haalbaarheid en wenselijkheid na van een centraal examen waarin een deel van de tijd alleen pen en papier worden gebruikt en een ander deel meer geavanceerde ICT-middelen zoals computeralgebra en dynamische meetkunde. Deze praktijk wordt gehanteerd in verschillende Scandinavische landen en bijvoorbeeld bij Europese scholen.

Belangrijk uitgangspunt bij bovenstaande aanbevelingen vormen de argumenten die in paragraaf 3.1 zijn gegeven. Vanzelfsprekend kan de commissie niet in de toekomst kijken, maar het overwegende beeld in binnen- en buitenland is dat de rol van digitale middelen in het wiskundeonderwijs en daarmee ook in (formatieve en summatieve) toetsing de komende jaren sterk zal toenemen. Dit vraagt veel inhoudelijke afwegingen en praktische stappen, waarvan we ons voorstellen dat ze voor CvTE ingrijpend kunnen zijn. Dit neemt niet weg dat het vooruitschuiven van dit werk het grote risico met zich meebrengt dat de examenpraktijk in Nederland onvoldoende is voorbereid op de toekomst en niet aansluit bij de ontwikkelingen in het onderwijs en in de wereld om ons heen.

REFERENTIES

- CvTE syllabuscommissies (2013). *Advies syllabuscommissies wiskunde aan het College voor Examens (CvE) ten aanzien van de noodzaak de grafische rekenmachine (GR) als een toegelaten hulpmiddel te blijven beschouwen*. Intern rapport. Utrecht: CvTE.
- CvTE-werkgroep Grafische Rekenmachine (2015). *Toetsen en knoppen; ICT in de centrale examens wiskunde havo/vwo*. Utrecht: CvTE.
- Drijvers, P. (in druk). Digital assessment of mathematics: opportunities, issues and criteria. *Mesure et évaluation en education*.
- Drijvers, P., Ball, L., Barzel, B., Heid, M. K., Cao, Y., & Maschietto, M. (2016). *Uses of technology in lower secondary mathematics education; A concise topical survey*. New York: Springer.
- Stacey, K. & William, D. (2013). Technology and Assessment in Mathematics. In M. A. Clements, A. Bishop, C. Keitel, J. Kilpatrick, & F. Leung (Eds.), *Third International Handbook of Mathematics Education* (pp. 721-751). New York/Berlin: Springer.
- Van Stiphout, I., Claus, I., & Remijn, J. (2018). *GeoGebra als vervanging van de Grafische Rekenmachine*. Intern rapport. Arnhem: Cito.
- Van Woudenberg, W. (2017). *Finding Better Tools for Mathematics Education: GeoGebra as a Possible Replacement for the Graphing Calculator*. Unpublished Master Thesis. Utrecht: Universiteit Utrecht. <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/352629/Research%20paper%20GeoGebra-Wesley%20van%20Woudenberg.pdf?sequence=2>

BIJLAGEN

Bijlage 1: Samenstelling commissie

De commissie is als volgt samengesteld.

Wim Caspers, docent en bestuurslid NVvW
Ivo Claus, toetsdeskundige Cito
Ilone Dekkers, pilot-docent wiskunde
Paul Drijvers, hoogleraar UU / lector HU, voorzitter
Erik ter Haar, docent wiskunde
Marianne Lambriex, docent wiskunde
Jos Remijn, toetsdeskundige Cito
Irene van Stiphout, toetsdeskundige Cito
Gert Treurniet, docent en bestuurslid NVvW
Piet Versnel, pilot-docent wiskunde
Wesley van Woudenberg, docent wiskunde
Peter van Wijk, waarnemer vanuit CvTE

Opdrachtgever vanuit het CvTE is Jacqueline Wooning, clustermanager exact.

Bijlage 2: Overzicht functionaliteit van ICT voor wiskunde met uit- of ingeschakelde examenstand

Onderwerp	Casio CG-20/CG-50	TI-84 Plus CE-T	HP Prime (CAS uitgeschakeld)	TI-Nspire	GeoGebra
Rekenen met π	$\pi + \pi = 2\pi$ $2\pi * 3 \pi = 59.2\dots$	$\pi + \pi = 6.28\dots$ $2\pi * 3 \pi = 59.2\dots$	$\pi + \pi = 6.28\dots$ $2\pi * 3 \pi = 59.2\dots$	$\pi + \pi = 6.28\dots$ $2\pi * 3 \pi = 59.2\dots$	$\pi + \pi = 2\pi$ $2\pi * 3 \pi = 59.2\dots$
Solver	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	niet beschikbaar in examenstand
Oplossing van $\sin(x)=1/2$ met solver	$\dots, 1/6 \pi, 5/6 \pi, \dots$	0.52...	0.52...	0.52...	nvt
Stelsels vergelijkingen oplossen	beschikbaar	Er kan een app worden geïnstalleerd (PolySmlt), maar deze is niet beschikbaar in de examenstand.	beschikbaar *	beschikbaar	dit is onderdeel van de solver, dus niet beschikbaar in examenstand
Polynoomsolver	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	beschikbaar
Klassieke meetkunde	Er is een toepassing ingebouwd: Geometry. Geometry is niet beschikbaar in examenstand.	Er kan een app worden geïnstalleerd (Cabri Jr), maar deze is niet beschikbaar in de examenstand.	beschikbaar *	beschikbaar ** Gebogen vormen en coördinaten worden niet uitgeschakeld in de Nederlandse examenstand.	beschikbaar
Analytische meetkunde	Er is een toepassing ingebouwd: Geometry. Geometry is niet beschikbaar in examenstand.	Er kan een app worden geïnstalleerd (Cabri Jr), maar deze is niet beschikbaar in de examenstand.	beschikbaar *	beschikbaar ** Gebogen vormen en coördinaten worden niet uitgeschakeld in de Nederlandse examenstand.	beschikbaar

Onderwerp	Casio CG-20/CG-50	TI-84 Plus CE-T	HP Prime (CAS uitgeschakeld)	TI-Nspire	GeoGebra
Kegelsneden	Er is een toepassing ingebouwd: Conics. In Conics kan één kegelsnede gelijktijdig worden gedefinieerd en geanalyseerd. Daarnaast kunnen er voor illustratiedoeleinden nog lijnen en cirkels worden getekend. Deze kunnen niet worden geanalyseerd.	Er kan een app worden geïnstalleerd (Conics), maar deze is niet beschikbaar in de examenstand.	beschikbaar *	beschikbaar ** Impliciete vergelijkingen, invoer door sjablonen en analyse hiervan worden niet uitgeschakeld in de Nederlandse examenstand.	beschikbaar
Programmeren	Programmeren is niet beschikbaar in examenstand.	Programmeren is niet beschikbaar in examenstand.	beschikbaar *	Programmeren is niet beschikbaar in de Nederlandse examenstand. ***	Programmeren is nooit beschikbaar. Scripting van objecten is niet beschikbaar in examenstand.
Regressie	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	beschikbaar
Eenheden (en conversie)	Alleen beschikbaar na installatie van add-in. Nog te controleren of deze add-in in examenstand beschikbaar is.	Er kan een app worden geïnstalleerd (SciTools), maar deze is niet beschikbaar in de examenstand.	beschikbaar *	beschikbaar	niet beschikbaar

Onderwerp	Casio CG-20/CG-50	TI-84 Plus CE-T	HP Prime (CAS uitgeschakeld)	TI-Nspire	GeoGebra
Directe rijen	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	beschikbaar via sequence of spreadsheet
Rekursieve rijen	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	beschikbaar via spreadsheet of via lijst icm functie
Webdiagram	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	niet standaard beschikbaar
Complexe getallen	beschikbaar	beschikbaar	beschikbaar *	beschikbaar	niet beschikbaar

* HP Prime: De examenstand is in zeer gedetailleerd niveau in te stellen: Vrijwel alle apps en functies kunnen individueel worden aan- of uitgezet.

** TI-Nspire: Deze is uit te zetten als optie in de internationale examenstand.

*** TI-Nspire: Programmeren is wel beschikbaar in de internationale examenstand.

Bijlage 3: Samenvatting vooronderzoek CITO

Wesley van Woudenberg

In deze bijlage vatten we het onderzoek samen met de titel “GeoGebra als mogelijke vervanger van de grafische rekenmachine bij wiskundetoetsen in de tweede fase van havo en vwo”, uitgevoerd bij Cito en tevens het masteronderzoek van Wesley van Woudenberg (UU). Dit onderzoek hangt nauw samen met het thema van de commissie van CvTE.

Omdat we geïnteresseerd zijn naar ervaringen met GeoGebra in de praktijk, hebben we een onderzoek opgezet waarin we leerlingen leerden omgaan met GeoGebra. GeoGebra biedt een aantal voordelen ten opzichte van de grafische rekenmachine (GR). Een eerste voordeel is dat GeoGebra bij veeltermfuncties alle oplossingen (zoals snijpunten en extreme waarden) in één keer geeft, ook als ze buiten het huidige venster liggen. Een tweede voordeel is dat in- en uitzoomen met GeoGebra veel makkelijker gaat door met de muis te scrollen of door assen te slepen. Uiteraard kent de GR ook voordelen voor de leerling, handzaamheid is daar een van. Aan de hand van lesobservaties en toetsen hebben we getracht te onderzoeken of GeoGebra gemakkelijk te gebruiken is door leerlingen en of ze er graag mee werken.

Opzet

Het onderzoek focust zich op drie deelvragen:

1. In hoeverre beïnvloedt het gebruik van GeoGebra de toetsresultaten, in vergelijking met de GR? Hiervoor zijn de toetsresultaten nagekeken volgens een specifiek correctieschema. Leerlingen scoorden punten voor verschillende onderdelen van hun antwoord. Een onderscheid werd gemaakt tussen reguliere punten (leerlingen schrijven juiste antwoorden op) en inzicht punten (leerlingen kiezen juiste vensterinstellingen en zien het gehele verloop van de veeltermfuncties, ofwel alle extremen).
2. In hoeverre prefereren leerlingen het gebruik van GeoGebra in plaats van de GR? Hiervoor zijn de vragenlijsten geanalyseerd.
3. Hoe verloopt het proces van het leren kennen van GeoGebra?

Om deze vragen te onderzoeken is lesmateriaal ontwikkeld voor drie lessen, dat in zes vwo-4 klassen is uitgetest. In de eerste les herhaalden leerlingen hun voorkennis over het grafisch-numeriek oplossen van opgave met de GR. In de tweede les leerden leerlingen GeoGebra gebruiken voor soortgelijke opgaven. In de derde les werden de leerlingen getoetst. De helft van de leerlingen maakten de toets met GeoGebra als ondersteunende software en de andere helft met behulp van de grafische rekenmachine. Achteraf vulden de leerlingen een vragenlijst in waarbij ze onder andere hun voorkeur voor een van de twee artefacten aangaven.

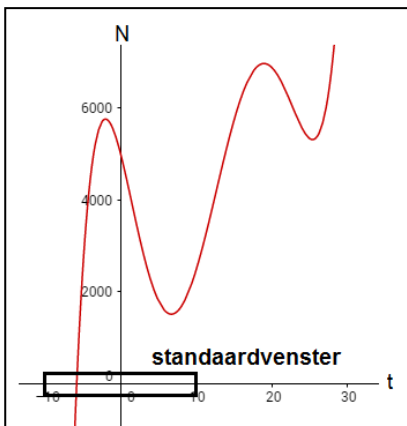
De volgende data zijn verzameld. Er zijn lesobservaties uitgevoerd in de tweede les, en filmopnames gemaakt tijdens de toets. Steeds twee leerlingen per klas werden geobserveerd tijdens het maken van de opgaven van les 2 in tweetallen en zij werden dan gefilmd tijdens het maken van de toets, waarbij de ene leerling de toets met GeoGebra maakte en de andere met de GR. Hiervoor zijn observatieschema's gebruikt, die onderscheid maakten tussen de vaardigheden op vijf gebieden: scherminstellingen aanpassen en functiewaarden, nulpunten, extreme waarden en snijpunten berekenen.

Dit was een eerste oriënterende onderzoek. De resultaten van leerlingen telden niet mee voor hun rapportcijfer, dus dit kan de resultaten beïnvloed hebben.

Resultaten en conclusies

1. Uit de toetsresultaten bleek dat leerlingen die de toets met GeoGebra (GGB-leerlingen) gemaakt hadden gemiddeld minstens evenveel reguliere punten gescoord hadden dan leerlingen die dat met de GR gedaan hadden. Daarnaast bleek dat GGB-leerlingen significant meer inzicht punten scoorden met GeoGebra ($Mdn = 4$), dan met de GR ($Mdn = 3$), bleek uit een Mann-Whitneytoets ($U = 1020$, $p < .001$, $r = .40$). Het is aannemelijk dat dit komt door de twee genoemde voordelen van GeoGebra. Het is waarschijnlijk dat leerlingen sneller inzicht krijgen in kenmerkende eigenschappen van veelgraadfuncties als ze de grafieken

beter in zicht (op het beeldscherm) hebben. In de toets probeerden we onderscheid te maken tussen laag en hoog niveau vragen. Achteraf bleek dat veel leerlingen de vierde toetsvraag, deze was van het hoge niveau, veelal niet afkregen. Het kan ermee te maken hebben dat de meeste leerlingen nog helemaal geen ervaring hadden met het goed in beeld krijgen van een functie waarvan de belangrijke eigenschappen ver buiten het standaardscherm liggen, zie Figuur 2.



Figuur 2: Grafiek toetsopgave 4

2. Uit de vragenlijsten bleek dat ongeveer driekwart van de leerlingen een voorkeur had voor de GR. Er bleek hier echter een bijzonder verschil op te treden als we onderscheid maken in welk artefact de leerling gebruikte bij het maken van de toets. Uit een Chi-kwadraattoets bleek dat leerlingen die de toets met GeoGebra gemaakt hadden significant vaker een voorkeur hadden voor GeoGebra ($\chi^2(1, N = 121) = 21.47, p < .001, V = .42$), zie Tabel 2.

Tabel 2: Artefact gebruikt bij toets uitgezet tegen de voorkeur voor artefact

	Voorkeur GR	Voorkeur GGB	Totaal
Toets met GR	58	4	62
Toets met GGB	34	25	59
Totaal	92	29	121

Dit lijkt erop te duiden dat als leerlingen langer hebben gewerkt met GeoGebra en/of ze de bevestiging hebben dat het op een toets eigenlijk best handig werkt dat ze dan GeoGebra eerder GeoGebra als favoriete artefact kiezen.

Leerlingen konden ook aangeven waarom ze de voorkeur gaven aan het artefact van hun keuze. We zagen dat veel leerlingen kozen voor de GR omdat ze daar gewoonweg aan gewend waren. Een andere voorname reden was dat de GR handzaam was en een laptop juist erg veel ruimte inneemt op de tafel. Verder vonden leerlingen dat ze nog maar weinig met GeoGebra hadden kunnen werken en het daarom nog niet goed genoeg kenden, dat GeoGebra soms vervelende kuren vertoonde of dat ze verdronken in alle mogelijkheden binnen GeoGebra. Daarnaast werd ook veel genoemd dat GeoGebra duidelijk is, handig en snel werkt en het feit dat GeoGebra alle oplossingen in één keer geeft werd op prijs gesteld.

3. Uit de observaties van les 2 en de toets bleek dat leerlingen soortgelijke functies die ze kennen van de GR snel kunnen uitvoeren op GeoGebra. Dit geldt voor nulpunten, extreme waarden en snijpunten. Met het berekenen van functiewaarden hadden leerlingen iets meer moeite. Dit had ermee te maken dat het voor veel leerlingen na één les GeoGebra nog niet heel intuïtief duidelijk was dat je veel dingen gewoon kunt intypen in GeoGebra. Zo zal GeoGebra bij het intypen van $f(1)$ in de invoerbalk direct de uitkomst berekenen voor de ingevoerde functie f .

Wat betreft het aanpassen van scherminstellingen leek het er tijdens de observaties op dat leerlingen sneller en behendiger konden werken met GeoGebra. Vaak hadden deze leerlingen meer instructie gehad van de onderzoeker in vergelijking met de gemiddelde leerling, waardoor we zagen dat ze ook de lastige grafiek van de functie van toetsvraag 4 snel in beeld hadden. Daarnaast zagen we een voorbeeld van een leerling die door de grote vrijheid in GeoGebra (in dit voorbeeld: nieuwe punten tekenen) zelfstandig leek te leren dat hij de vraag 'Los op $h(x) = k(x)$ ' grafisch-numeriek kon oplossen door nieuwe punten te tekenen in de snijpunten van de grafieken. Het is niet onaannemelijk dat de grotere bewegingsvrijheid in GeoGebra leidt tot een beter begrip van functies en grafieken.

Mogelijk vervolgonderzoek

Dit onderzoek geeft positieve uitkomsten voor het gebruik van GeoGebra in de wiskundeles en tijdens toetsen. Er zijn nog wel obstakels aangetroffen, maar deze zijn niet onoverwinnelijk. Er zijn tal van mogelijke wegen voor vervolgonderzoek, een aantal ideeën zal ik kort benoemen. Leerlingen hadden in dit onderzoek te weinig tijd. Ten eerste omdat ze maar één les de tijd hebben gehad om GeoGebra te leren kennen, en ten tweede omdat de tijd die leerlingen voor de toets kregen net te kort was, waardoor ze niet voldoende tijd overhielden voor de vraag van het hogere niveau. Verder lijkt het verstandig om onderzoek te doen op een dusdanige manier dat de leerlingen alleen bekend zijn met GeoGebra, omdat GeoGebra in dit onderzoek nog veel wordt vergeleken met de GR. Ook lijkt het zinnig om te kijken of toetsresultaten hetzelfde zijn of juist veranderen indien het cijfer dat leerlingen scoren voor de toets meetelt op het rapport.

Bijlage 4: Ervaringen op scholen met toetsen met GeoGebra

Stedelijk College Eindhoven

M.A. Lambriex

F. Mackay

In het VWO wiskunde B-examenprogramma is Analytische Meetkunde een nieuw programma onderdeel. Juist dit onderdeel leent zich voor een integrale inzet van GeoGebra, dat algebra verbindt met meetkunde. Enkel de TI-Nspire kent deze mogelijkheden ook, maar slechts weinig scholen zetten de TI-Nspire in. De andere GR's kunnen bij dit onderdeel nauwelijks ondersteuning bieden bij het leerproces. Wij gebruiken de TI 84plusC. In 5 vwo hebben we dit jaar GGB ingezet als krachtige leeromgeving en daar ook een toets bij afgenomen met GGB.

De ICT-achtergrond van onze 5vwo's is divers, in de onderbouw hebben tto'ers geen device en nto'ers (WON) wel een eigen device, een MacBook-Air en hebben veel GGB gebruikt. We zijn dit experiment aangegaan met eigen device's en reserve desktops van school. De systeembeheerder was in 5 minuten klaar met de installatie van de examenGGB en deze is zo voor docenten en leerlingen beschikbaar, zowel on- als offline.

We hebben de bijbehorende leerstof "geGeobraïseerd" en ook de uitleg, en de leerlingen gevraagd thuis de examenversie van GGB te installeren. Dat was voor de windows machines geen probleem, helaas was de versie voor de Macmachines niet klaar, zij hebben verder online gewerkt. Geen enkele leerling heeft hierbij problemen ondervonden. We hebben ook twee lessen in de mediatheek gegeven, zodat de lln konden wennen aan die machines en konden besluiten of ze wel niet voor een eigen device zouden gaan. De meesten kozen voor dat laatste, ivm gewenning aan eigen apparaat. Er zijn tablets, laptops en een fablet gebruikt, van windows en apple, geen smartphones.

Het voordeel van de examenversie van GGB is dat alle leerlingen ongeacht hun device of besturingssysteem hetzelfde scherm met dezelfde indeling en dezelfde menustructuur voor zich hebben. Ze kunnen elkaar dan ook heel goed ondersteunen.

Voor de toets hebben we de mediatheek gebruikt, m.n. vanwege de beschikbaarheid van desktops als reserve-apparatuur maar ook om de lesruimte voor de leerlingen met een eigen device. Deze toets werd gelijktijdig door 3 5vwoB groepen gemaakt o.l.v. twee docenten. Het allemaal tegelijk opstarten met de examenversie van GGB leverde een aantal rode balken op, maar na deze nog een keer te laten opstarten was dat probleem de wereld uit. Volgens onze systeembeheerder kan het aan de capaciteit van ons systeem liggen. De inhoud van de toets was identiek aan die van vorig jaar met een extra opgave waarvoor GGB echt ingezet moet worden. De GR was verboden, wel de gewone rekenmachine van de onderbouw (omdat ze niet vertrouwd zijn met de GGB rekenmachine), maar die bleek achteraf overbodig. De toets verliep zonder incidenten, slechts 2 leerlingen vlogen uit de examenstand en dat was goed te zien, bovendien meldden ze dat uit zichzelf. Het op elkaars scherm kijken was mogelijk maar leverde echter niet genoeg informatie op om dan een stap verder te komen, enkel de figuur is te zien, maar de invoer en het algebrascherm niet groot genoeg. Tijdens de toets was er slechts één vraag om bijstand mbt de werking van GGB.

Het resultaat van deze AM-toets van dit jaar met GGB is gemiddeld meer dan 1 punt hoger dan vorig jaar met GR. Twee doubleurs en dus ervaringsdeskundig zonder en met GGB verklaren dit als volgt, doordat GGB meer inzicht geeft in wat je daadwerkelijk aan het algebraïseren bent. Leerlingen hebben GGB op twee verschillende manieren ingezet: als oplossingsstrategie door de constructies uit te voeren en daarna algebraïsch uit te werken en/of als controle achteraf. De leerlingen geven hierbij aan GGB te prefereren boven de GR.

Deze manier van werken hebben ze plezierig gevonden en ook hun voorbereiding was voldoende om de toets goed te kunnen maken, het werken met GGB gaat ze gemakkelijker af dan het werken met de GR.

Christelijk Gymnasium Sorghvliet, Den Haag

G. Treurniet

Op onze school hebben de leerlingen van klas 2, 3 en 4 met ingang van september 2017 beschikking over een BYOD. Daaronder zijn veel Chromebooks. We hebben besloten, de leerlingen in klas 4 nog geen grafische rekenmachine aan te laten schaffen, maar te experimenteren met GeoGebra. GeoGebra wordt gebruikt als vervanger van de GR, zowel in de les als in de toetsen.

In oktober hebben we de eerste toets wiskunde A en B afgenomen, waarbij de leerlingen hun eigen apparaat mochten gebruiken om met de beperkte onlineversie van GeoGebra ('examenstand') te gebruiken. Dit is gelijktijdig gebeurd met alle 120 leerlingen van klas 4. De toets werd op papier gegeven, de uitwerkingen werden op papier geschreven. Het onderwerp was werken met functies. In december hebben we een tweede, qua ICT-toepassing vergelijkbare toets afgenomen.

De door ons positief gewaardeerde observaties naar aanleiding van deze toets zijn:

- leerlingen lijken sneller GeoGebra tijdens de toets te gebruiken dan de GR;
- zelfs wiskunde A leerlingen hebben neigingen om met GeoGebra opgaven te gaan verkennen;
- touchscreen op het apparaat is een groot gemak in de bediening;
- voor het rekenwerk blijven de leerling graag naar de wetenschappelijke rekenmachine grijpen
- er is geen binnenkomstcontrole van de apparaten nodig;
- het in- en uitschakelen van de examenstand gaat snel en eenvoudig;
- iedereen gebruikt dezelfde versie van de (GeoGebra) software;
- er was geen gedoe met lege accu's van apparaten.

De door ons neutraal gewaardeerde observaties naar aanleiding van deze toets zijn:

- het is handig om wat meer van achteren uit de klas te observeren;
- het op elkaars schermen kijken lijkt (in elk geval bij dit onderwerp) geen probleem te zijn;
- de procedure voor het gebruik van GeoGebra is uit te leggen aan niet-wiskundig onderlegde collega's.

De door ons negatief gewaardeerde observatie:

- aan het einde van de toets moet worden gecontroleerd of de inhoud van het logboek ok is.

Wat we nog gaan aanpakken:

- enkele apparaten geven een rode balk bij het inschakelen van de examenstand (hier doen we later verder onderzoek naar);
- overwegen of alleen een internetverbinding naar GeoGebra zullen toestaan;
- overwegen of we meekijksoftware voor de schermen (meer) gaan gebruiken (we hebben dit in december voor het eerst op kleine schaal gedaan).

We zijn met elkaar als wiskundeteam heel tevreden over hoe het is gegaan tot nu toe. Het spreekt ons vooral aan dat leerlingen een veel lagere drempel lijken te hebben om GeoGebra te gebruiken dan om een GR te gebruiken. Interessant zou nog zijn om de weten wat leerlingen van de softwarematige versies van de GR zouden vinden. De leerlingen kunnen geen vergelijking met het gebruik van de GR geven: zij hebben de GR nooit gebruikt.