



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Een vergelijkende analyse van ICT-hulpmiddelen in het wiskundeonderwijs aan blinden en slechtzienden in Ierland, Polen, Nederland en buurlanden

Donal Fitzpatrick, School of Computing, Dublin City University, Ierland

Sarah Murray, Trinity College, Dublin, Ierland

Annemiek van Leendert, Royal VISIO, Nederland

Jolanta Brzostek-Pawłowska, NASK National Research Institute, Polen

Małgorzata Rubin, NASK National Research Institute, Polen



Dit rapport is gemaakt als onderdeel van het project Euromath. – ondersteuning voor docenten en leraren met een visuele beperking in inclusieve onderwijsomgevingen.

Dit project wordt gefinancierd door Erasmus+ No. 2017-1-PL01-KA201-038548.

Het rapport is opgesteld door het partnerschap:

Dublin City University (Editor), Ierland

Koninklijke Visio, Nederland

NASK National Research Institute, Polen, Project Coördinator

Dit rapport is gereviewd door Dr. Flaithrí Neff, Limerick Institute of Technology, Ierland.

Voor vragen over dit rapport kunt u contact opnemen met Dr. Donal Fitzpatrick
(donal.fitzpatrick@dcu.ie)

Inhoudsopgave

1	Inleiding	7
1.1	Samenvatting.....	7
1.2	Belangrijkste kwesties	8
1.3	Structuur van het rapport	10
2	Wiskunde onderwijzen aan blinde en slechtziende leerlingen: de Ierse situatie	12
2.1	Het onderwijssysteem	13
2.2	Beoordeling en examinering	18
2.3	Onderwijsmethoden.....	20
2.4	Toegang tot wiskunde voor blinde leerlingen.....	21
2.5	Toegang tot wiskunde voor leerlingen met een visuele beperking in Ierland.....	23
2.6	Toegang tot diagrammen voor blinde en slechtziende leerlingen.....	24
2.7	Bespreking	27
3	Wiskunde onderwijzen aan blinde en slechtziende leerlingen: de Nederlandse situatie	28
3.1	Onderwijs in Nederland.....	28
3.1.1	Inleiding tot het onderwijsstelsel	28
3.1.2	Lerarenopleiding	29
3.1.3	Verschillende wiskundige pakketten op HAVO en VWO	30
3.2	Onderwijs aan visueel gehandicapte leerlingen	31
3.2.1	Inleiding	31
3.2.2	Ambulante onderwijsondersteuning	31
3.2.3	Speciaal onderwijs	32
3.2.4	Ondersteuning voor wiskundeleraren die lesgeven aan visueel gehandicapte leerlingen in het reguliere middelbare onderwijs	32
3.3	Onderzoek naar ondersteunende technologie voor visueel gehandicapte leerlingen	33
3.3.1	Onderzoek 2016 (Nederland)	34
3.3.2	Onderzoek 2018 (Nederland)	34
3.3.3	Onderzoek 2018 (België)	37
3.4	Toegang tot wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen voor blinde en slechtziende leerlingen.....	38
3.4.1	Inleiding	38
3.4.2	Lesboeken wiskunde en wiskundige notatie	39
3.4.3	Wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen	39
3.5	Toegang tot grafieken voor blinde en slechtziende leerlingen in Nederland	41
3.5.1	Inleiding	41
3.5.2	Een andere manier van naar grafieken kijken	41

3.6	Examens	42
3.6.1	Examens voor het reguliere voortgezet onderwijs	42
3.6.2	Examens van het bijzonder middelbaar onderwijs	44
3.6.3	Onderzoek in wiskunde B	44
3.7	Discussie en commentaar	44
3.8	Aanvullende informatie.....	45
3.8.1	Bijlage A	45
3.8.2	Bijlage B	47
4	Wiskunde onderwijzen aan blinde en slechtziende leerlingen: de Poolse situatie	51
4.1	Inleiding.....	51
4.2	Het formele onderwijsstelsel in Polen	51
4.3	Blinde en slechtziende leerlingen in het Poolse onderwijssysteem	53
4.3.1	Landelijke statistische gegevens	53
4.3.2	De behoefte aan en het gebruik van ondersteunende ICT-hulpmiddelen	57
4.3.3	Conclusies van het onderzoek naar het gebruik van ondersteunende ICT-instrumenten.	70
4.3.4	Beoordeling en examinering	73
4.3.5	Toegang tot formules voor blinde leerlingen	80
4.3.6	Toegang tot wiskunde voor visueel gehandicapte leerlingen	81
4.3.7	Toegang tot diagrammen voor blinde en slechtziende leerlingen	82
4.4	ICT ter ondersteuning bij inclusief wiskundeonderwijs in buurlanden.....	82
4.4.1	Tsjechië en Slowakije	82
4.4.2	Duitsland	84
4.5	Opmerkingen.....	85
5	Conclusie	87
6	Referenties	88

Lijst met afbeeldingen

Figuur 1 Voorbeelden van het verschil in het aantal tekens bij het schrijven van formules in BMN vergeleken met de ASCII-notatie.	7
Figuur 2 Het Nederlandse onderwijssysteem, 11 april 2018 [27]	29
Figuur 3 Eindexamen zonder wiskunde (bron(http://www.wiskundebrief.nl/762.htm)	30
Figuur 4 Wiskunde B en D (bron (http://www.wiskundebrief.nl/762.htm)	31
Figuur 5 Wiskundekist voor blinde leerlingen in het reguliere middelbare onderwijs (bron https://www.eduvip.nl/wiskundekist-voor-braille-en-zeer-slechtziende-leerlingen/)	33
Figuur 6 Brailleleesregel gekoppeld aan een laptop (bron: http://www.hims-inc.com/product/braille-edge-40/)	33
Afbeelding 7 Eigen productie van een ziende leerling.	40
Afbeelding 8 Diverse parabolen, allemaal met de basisvorm van $y = x^2$	42
Figuur 9 Schema van het onderwijsstelsel in Polen na de start van de onderwijshervorming in 2017.	52
Figuur 10 Schema van het onderwijsstelsel in Polen vóór de hervorming in 2017	53
Figuur 11 QR-code aan te vullen met de uitkomsten van de berekeningen	67
Figuur 12 Voorbeeld van een formule in LaTeX-notatie.....	84

Lijst met tabellen

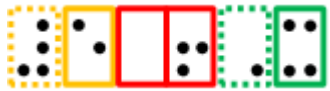

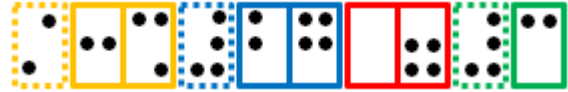
Tabel 1 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van 29 visueel gehandicapte leerlingen in het voortgezet onderwijs (regulier) in Nederland.	36
Tabel 2 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van 29 blinde leerlingen in het voortgezet onderwijs (regulier) in Nederland.	36
Tabel 3 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van zeven visueel gehandicapte leerlingen in het voortgezet onderwijs in België.	38
Tabel 4 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van 29 blinde leerlingen in het voortgezet onderwijs in België.	38
Tabel 5 Wiskundige notatie voor ziende en blinde leerlingen	39
Tabel 6 Voorbeelden van aangepaste examens voor visueel gehandicapte leerlingen	44
Tabel 7 De inhoud van het Nederlandse VWO-examen wiskunde A	46
Tabel 8 De inhoud van het Nederlandse VWO-examen wiskunde B	46
Tabel 9 De inhoud van het Nederlandse VWO-examen wiskunde C	47
Tabel 10. Het aantal blinde en slechtziende leerlingen op openbare en bijzondere scholen in Polen.....	55
Tabel 11 Deelname van Poolse scholen voor openbaar en speciaal onderwijs in het onderwijs aan leerlingen met een visuele handicap in de schooljaren 2012/2013 en 2016/2017	56
Tabel 12 Het aantal blinde en slechtziende leerlingen in Poolse SOSW's in de schooljaren 2012/2013 en 2016/2017.....	56
Tabel 13 Verdeling van het aantal respondenten op bepaalde soorten scholen	58
Tabel 14 Samenvatting van de gegevens uit de enquête over ICT-toepassingen in het wiskundeonderwijs voor leerlingen met een visuele handicap	62
Tabel 15 Een samenvatting van de onderzoeksgegevens over het gebruik van interactieve schoolborden en monitoren in wiskundeonderwijs aan leerlingen met een visuele beperking	64
Tabel 16 leerlingen die opgaven maken van aangepaste eindexamens wiskunde op de middelbare school	75
Tabel 17 Blinde en slechtziende leerlingen op openbare en speciale middelbare scholen in Polen.....	76
Tabel 18 Geslaagde gehandicapte eindexamenkandidaten op openbare en speciale middelbare scholen in Polen.....	76
Tabel 19 leerlingen die opgaven maken van aangepaste examens op het eindexamen wiskunde van de middelbare school	77
Tabel 20 Gehandicapte eindexamenkandidaten van openbare en speciale scholen in Polen die het diploma middelbaar onderwijs hebben behaald.	77
Tabel 21 Leerlingen van de technische school die taken oplossen in aangepaste eindexamens wiskunde bij de SOSW-steekproef voor blinde en slechtziende kinderen.	79

1 Inleiding

1.1 Samenvatting

Een van de belangrijkste doelstellingen van het onderwijzen van leerlingen is het verwerven van vaardigheden die bepalend zijn voor hun functioneren in de zogeheten kennissamenleving, en hun succes op de arbeidsmarkt. In 2006 heeft het Europees Parlement (EP) aanbevelingen beschreven, gedefinieerd en gedaan betreffende de kerncompetenties in afzonderlijke vakken en algemene kennis van leerplichtige jongeren. Tot de vier vakspecifieke competenties behoren wiskunde, wetenschappelijke en technische basisvaardigheden en IT-competenties. De noodzaak om wiskundige vaardigheden te verwerven betreft het ontwikkelen van de bekwaamheid om wiskundig redeneren te ontwikkelen en in te zetten bij het oplossen van problemen die voortvloeien uit alledaagse situaties, met de nadruk op het proces, handeling en kennis. Het ontwikkelen van IT-competenties is gericht op het kundige en kritische gebruik van technologie van de informatiemaatschappij (IST), en dus ook op het toepassen van ICT-basisvaardigheden, onder meer voor het verwerven van wiskundige competenties. Vooral het gebruik van ICT in het wiskundeonderwijs aan blinden en slechtzienden, kan het werk van docenten en de verwerving van wiskundige kennis door leerlingen aanzienlijk vergemakkelijken.

Het probleem betreft niet alleen blinde mensen, maar ook een veel groter aantal slechtziende personen onder wie een zeer grote variatie bestaat in de ernst en het type visuele handicap, wat een persoonlijke toepassing van ondersteunende maatregelen vereist. Wiskundige en natuurkundige uitdrukkingen (hierna te noemen wiskundige formules) en elementen van wiskundige grafieken zijn niet-lineaire, ruimtelijke objecten die moeilijk te lezen, te herkennen en te bewerken zijn door mensen met een visuele beperking. Formules moeten worden omgezet in een lineaire notatie (bijvoorbeeld AsciiMath [1]). Om schematische informatie toegankelijk te maken, zijn op maat gemaakte technieken nodig om tactiele versies produceren van grafieken, etc. Door de overmaat aan lineaire formules in AsciiMath en in brailnotenotaties, is dit erg veel werk en daardoor duren wiskundige bewerkingen erg lang. Bovendien is extra gespecialiseerde brailleapparatuur en -software nodig, naast de aanpassing van lesboeken en ander educatief materiaal. Figuur 1 illustreert de inherent langere tijdsduur die nodig is om formules te schrijven in de Poolse wiskundige brailnotenotatie (BMN) vergeleken met de ASCII-notatie.

ASCII-formule	Lengte	Formule in braille	Lengte	Redundantie
$5 + x$	3 tekens		6 tekens	$\frac{6}{3} * 100\% = 200\%$
$67:14$	5 tekens		8 tekens	$\frac{8}{5} * 100\% = 160\%$
$\sqrt[3]{27} = 3$	5 tekens		10 tekens	$\frac{10}{5} * 100\% = 200\%$

Figuur 1 Voorbeelden van het verschil in het aantal tekens bij het schrijven van formules in BMN vergeleken met de ASCII-notatie.

(Bron: eigen werk)

Hoewel elk land dat vertegenwoordigd is in EuroMath zijn eigen uitdagingen kent op het gebied van wiskundeonderwijs, zijn er een aantal algemene problemen ongeacht de locatie waar de inhoud wordt geraadpleegd. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste kwesties die ten grondslag liggen aan een project als EuroMath. Opgemerkt moet worden dat dit geen uitputtende lijst is, maar dat deze bedoeld is om de lezer een momentopname te bieden van de situatie van personen met een visuele beperking die wiskundige vergelijkingen willen lezen/oplossen en die schematische voorstellingen zoals grafieken willen onderzoeken.

Het overkoepelende doel van het EuroMath-project is het ontwikkelen van een innovatief ICT-platform met meerdere hulpmiddelen ter ondersteuning van het wiskundeonderwijs voor leerlingen met een visuele beperking en hun leerkrachten. De oplossingen van EuroMath zullen freeware zijn. Het project wil tegemoetkomen aan de ICT-behoefte van leerlingen met een visuele beperking bij het verwerven van wiskundige competenties die aansluiten bij de lesprogramma's van het basis- en secundair onderwijs in de partnerlanden. De resultaten van het project zullen ook van nut zijn voor leerlingen die worden onderwezen in inclusieve en reguliere instellingen en hun leerkrachten.

De basis voor het geplande EuroMath-model is het eerdere werk genaamd PlatMat [2]. PlatMat is ontwikkeld naar aanleiding van twee onderzoeksprojecten die zijn uitgevoerd tussen 2014 en 2017. PlatMat ondersteunt wiskundige instructie en is momenteel alleen beschikbaar voor Poolse leerlingen en leraren. Dit programma heeft twee internationale innovatieprijzen gewonnen (Tell Us Awards, ITEX 2015).

Blind en slechtziende leerkrachten en leerlingen in het basis- en middelbaar onderwijs in Polen, Nederland en Ierland zullen aan dit project deelnemen. Ook zullen af en toe vertegenwoordigers worden betrokken van instellingen en organisaties die mensen met een visuele beperking bedienen in het regulier en het speciaal onderwijs, en onderzoeks- en innovatie-instituten. De projectactiviteiten worden in de partnerlanden uitgevoerd in nauwe samenwerking met leerkrachten en hun leerlingen met een visuele beperking om te zorgen dat de resultaten voldoen aan de specifieke behoeften en verwachtingen van de doelgroepen. De kwaliteit en bruikbaarheid van de EuroMath-hulpmiddelen zal door de eindgebruikers worden geverifieerd tijdens evaluatie- en validatiehandelingen.

Het project verwacht de kennis van de behoeften van blinde en slechtziende leerlingen met betrekking tot wiskunde te vergroten en hoopt ook een bijdrage te leveren aan best practices in het onderwijs van deze bevolkingsgroep.

1.2 Belangrijkste kwesties

Een van de belangrijkste beslissingen die moet worden genomen bij het ontwerpen van een reeks instrumenten die blinden en slechtzienden toegang kunnen geven, is de manier waarop de informatie aan de doelgebruiker wordt gepresenteerd. Om dit ideaal te verwezenlijken, moet eerst worden bepaald welke informatie moet worden gepresenteerd en vervolgens hoe dat moet gebeuren. Om het tweeledige doel van het bepalen van zowel welke als hoe de relevante informatie aan de gebruiker moet worden gepresenteerd, is het belangrijk om eerst het leesproces te begrijpen.

Een belangrijk kenmerk van het visuele leesproces is de functie van een afgedrukte pagina. Dit medium biedt de lezer niet alleen de functie van extern geheugen, het vergemakkelijkt ook zeer verfijnde controle over de informatiestroom. In zijn proefschrift [3] citeert Stevens Raynor, die lezen omschrijft als: 'Het vermogen om visuele informatie van de pagina te extraheren en de betekenis van de tekst te begrijpen' [4, p. 23]. Stevens vertelt ons ook dat lezen kan worden onderverdeeld in drie hoofddomeinen:

1. Het proces van het begrijpen van wat er gelezen is.
2. De invoer van informatie uit een externe, fysieke bron via het visuele systeem in het geheugen van de lezer.
3. Het herkennen van woorden en hun integratie in hogere structuren zoals zinnen.

In tegenstelling tot taalkundig georiënteerd materiaal vormt presentatie van wiskunde op toegankelijke wijze een grote uitdaging. Karshmer et al. [5] benadrukken de tweedimensionale aard van visuele en afgedrukte wiskundige vergelijkingen, die moeilijk over te brengen is via lineaire systemen zoals gesynthetiseerde spraak en braille. De ruimtelijke representatie van vergelijkingen kan cruciale semantische informatie coderen die zeer noodzakelijk is om de wiskundige constructie te begrijpen.

De transformatie naar een lineaire presentatie van een tweedimensionale representatie waarin de ruimtelijke ordening van symbolen in combinatie met witruimte, voor een rijk semantisch en syntactisch begrip zorgt, is een fundamenteel probleem bij het omzetten van wiskunde van print naar braille of op audio gebaseerde output. Afgedrukte notaties zorgen voor een blijvende visuele aanwijzing die effectief niet-temporaal is. Hoorbare representaties zijn echter noodzakelijkerwijs vluchtig door het inherent tijdelijke karakter van geluid. Ziende gebruikers kunnen gedrukt materiaal dus gebruiken als een soort extern geheugen en hoeven de structuur en de lay-out van een vergelijking niet te onthouden. Deze conclusie wordt ondersteund door de resultaten van een reeks cognitieve experimenten waarin het lezen van vergelijkingen door ziende gebruikers is onderzocht, uitgevoerd door Gillan *et al* [6], die heeft ontdekt dat ziende proefpersonen de operatoren en getallen intensiever verwerken dan tussen haakjes. Omdat de ruimtelijke structuur van de vergelijking (die volgt uit het gebruik van haakjes en andere grafische symbolen en afbakening) eenduidig en persistent is, wanneer deze visueel wordt gepresenteerd, is dit misschien niet verwonderlijk. Dit wijst erop dat het werken met wiskundig materiaal in een niet-visueel medium onvermijdelijk meer cognitieve belasting tot gevolg heeft, omdat deze structurele informatie nu in het geheugen moet worden opgeslagen. Dit duidt er sterk op dat methodes om de ruimtelijke structuur van vergelijkingen voor te stellen op een niet-visuele manier, cognitief zo gemakkelijk mogelijk te verwerken moeten zijn.

Dit brengt unieke uitdagingen met zich mee. Naast het omzetten van het materiaal in een gesproken of braille-weergave, moet de ontwikkelaar van het systeem voor mechanismen zorgen die de gebruiker in staat te stellen de wiskundige informatie in zijn geheel te lezen, of het materiaal in stukken op te delen voor eenvoudiger navigatie. Dat er al zo veel pogingen zijn gedaan om dit specifieke probleem op te lossen, getuigt van de weerbarstigheid daarvan.

Naast de technische uitdagingen zijn er ook sociaal-culturele kwesties waarmee rekening moet worden gehouden. In veel landen zijn de mogelijkheden voor blinden en slechtzienden om deel te nemen aan het hoger onderwijs, vooral in bèta- en de technische vakken (wetenschap, technologie, techniek en wiskunde), zeer beperkt. Daar zijn allerlei redenen voor. In het verleden waren ziende leraren van mening dat mensen met een visuele beperking zich niet met dit soort materiaal konden bezighouden. Als gevolg hiervan zijn blinde en slechtziende kinderen actief ontmoedigd om vakken als wiskunde te leren. Ten tweede is de onderwijsinfrastructuur an sich niet ingericht om extra tijd te besteden voor hulp aan blinde en slechtziende leerlingen bij het leren en bestuderen van bèta- en technische onderwerpen. Dit kan komen door te veel leerlingen in de klas, een gebrek aan kennis bij de leerkrachten, te weinig ondersteuning door professionals die met kennis van zaken over hoe mensen met een visuele handicap dit lesmateriaal onder de knie kunnen krijgen, en allerlei andere redenen. Het EuroMath-project is opgezet in het kader van deze technische en maatschappelijke uitdagingen. Alle betrokkenen koesteren de hoop dat dit project het vooruitzicht op onderwijs en werkgelegenheid zal verbeteren van een groep personen die door het gebrek aan kansen op dit gebied, daar sterk ondervertegenwoordigd is.

1.3 Structuur van het rapport

Dit rapport bevat een omschrijving van de manier waarop blinden en slechtzienden omgaan met wiskundige inhoud in de drie partnerlanden die het EuroMath-project uitvoeren, te weten: Ierland, Polen en Nederland. Het bevat ook informatie over buurlanden als België, Tsjechië, Duitsland, Slowakije en het Verenigd Koninkrijk. Indien noodzakelijk en van toepassing bevat elk onderdeel informatie over de volgende onderwerpen:

1. het onderwijssysteem in elk partnerland
2. het onderwijsprogramma van wiskunde in de partnerlanden
3. de examinering- en beoordelingsstructuren in de partnerlanden
4. hoe wiskunde wordt onderwezen aan blinden en slechtzienden in de partnerlanden, of dit het geval is en waar deze informatie beschikbaar is
5. de manier waarop blinde en slechtziende mensen omgaan met wiskunde
6. de manier waarop deze groep omgaat met schema's zoals grafieken etc.

Aan de lezer wordt verzocht rekening te houden met het feit dat, door de karakteristieken van het onderwerp

en hoe elk land hiermee omgaat, de structuur van elk hoofdstuk kan verschillen. De auteurs hebben ernaar gestreefd om analoge informatie te verstrekken, maar dat was niet altijd mogelijk. Het rapport wordt afgesloten met een kort hoofdstuk waarin mogelijke bevindingen worden geschetst, een toelichting op de situatie in de diverse landen en de invloed daarvan op toekomstige werkzaamheden binnen het EuroMath-project.

2 Wiskunde onderwijzen aan blinde en slechtziende leerlingen: de Ierse situatie

Voordat we de manier waarop blinden/slechtzienden in Ierland omgaan met wiskunde bespreken, moet eerst worden benadrukt dat er geen kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn van deze bevolkingsgroep. De informatie op deze pagina's is dus ontleend aan de feedback van degenen die dit vak onderwijzen aan de leerlingen in kwestie. Het is niet de bedoeling hier een strikte wetenschappelijke analyse te impliceren; de steekproefgrootte van degenen die de informatie hebben verstrekt, is te klein daarvoor. De hier verstrekte kwalitatieve gegevens zijn echter zeer waardevol omdat ze zijn verkregen van personen die hun hele leven wiskunde hebben onderwezen aan blinde/slechtziende leerlingen. Om deze informatie te verkrijgen is een vragenlijst verspreid onder 'visiting teachers' die samenwerken met de leerkracht om te zorgen voor gelijke toegang tot onderwijs voor blinden/slechtziende leerlingen. Op het moment van schrijven heeft slechts één van de 11 visiting teachers informatie verstrekt. Omdat deze persoon echter het belangrijkste lid van deze groep is en nauw heeft samengewerkt met de desbetreffende autoriteiten bij het bepalen van de regelgeving en de kaders op basis waarvan wiskunde aan deze bevolkingsgroep wordt onderwezen, wordt de verkregen input als zeer zuiver beschouwd. Een andere informatiebron voor dit rapport was een focusgroep die op 13 april 2018 is georganiseerd met de wiskundeleraars van Pobailsoil Rosmini, de enige gespecialiseerde school die secundair onderwijs verzorgt voor blinden/slechtzienden in Ierland. Er waren vijf docenten aanwezig en de informatie is verzameld tijdens een informeel gesprek. Tot slot is er input ontvangen van de afdeling Reading Services van Childvision [7] dat verantwoordelijk is voor de productie van alle schoolboeken voor blinde/slechtziende kinderen in Ierland. Deze auteur is dank verschuldigd aan iedereen die betrokken is bij het wiskundeonderwijs in Ierland en die er kostbare tijd en energie in heeft gestoken om te zorgen dat dit rapport zo nauwkeurig mogelijk is. Erkend wordt dat numerieke en andere gegevens in andere delen van dit verslag ontbreken in het geval van Ierland. Het ministerie van Onderwijs en Vaardigheden heeft hier een negatief advies over gegeven. Het aantal leerlingen in deze in bepaalde opzichten nichegroep is klein. Door het verstrekken van de gevraagde numerieke gegevens in kwestie, kunnen deze leerlingen gemakkelijk worden geïdentificeerd, wat dus een inbreuk zou betekenen op hun rechten op het gebied van gegevensbescherming krachtens de nieuwe AVG-regelgeving. Tot slot wordt in dit deel van het verslag vooral aandacht besteed aan de Ierse situatie. Er wordt informatie verstrekt over de situatie in het Verenigd Koninkrijk. Noch de hoeveelheid tijd, noch de projectmiddelen maakten het mogelijk om een belangrijke hoeveelheid gegevens over het buurland te verzamelen. Daarom wordt beknopte informatie verstrekt ter vergelijking met Ierland en wordt de lezer doorverwezen naar de relevante bibliografische gegevens, waar meer informatie te vinden is.

Artikel 2 van de Wet op onderwijs voor personen met bijzondere onderwijsbehoeften (EPSEN) uit 2004 vereist het volgende:

'Een kind met bijzondere onderwijsbehoeften moet worden onderwezen in een inclusieve omgeving met kinderen die dergelijke behoeften niet hebben, tenzij de aard of de mate van de behoeften van het kind zodanig zijn dat dit in strijd zou zijn met:

- het belang van het kind zoals bepaald conform een beoordeling op grond van deze wet
- de effectieve verstrekking van onderwijs aan de kinderen met wie het kind onderwijs ontvangt.'

In het algemeen wordt voorzien in onderwijs voor kinderen met speciale behoeften door:

- speciale scholen
- speciale klassen op gewone scholen
- geïntegreerde omgeving tijdens reguliere lessen.

Zoals in andere landen de norm is, zijn de leerkrachten die op speciale scholen werken, verantwoordelijk voor het volledige onderwijsprogramma van de leerlingen. In een reguliere omgeving wordt de leerkracht in de klas ondersteund door een gespecialiseerde deskundige die advies geeft over alle aspecten van de behoeften van het kind in het kader van de visuele handicap. De personen die verantwoordelijk zijn voor deze activiteiten, heten 'Visiting Teachers' en komen sporadisch in contact met de leerlingen. De mate van ondersteuning varieert per kind en de regio in Ierland waar het onderwijs plaatsvindt. In het Verenigd Koninkrijk wordt dezelfde functie vervuld door een 'Qualified Teacher of the Visually Impaired' (QTVI). Een van de belangrijkste onderdelen van de Wet op onderwijs voor personen met bijzondere onderwijsbehoeften (EPSEN) (2004) was de invoering van persoonlijke onderwijsplannen (IEP's) waarmee leerkrachten toegang zouden krijgen tot informatie over de persoonlijke behoeften van de leerling. Dit kon verschillende onderdelen omvatten, bijvoorbeeld leermiddelen, leerstrategieën en geschikte aanpassing van het lesmateriaal. Maar omdat dit onderdeel van de wet nog niet in werking is getreden, is de tenuitvoerlegging van de IEP's nog steeds facultatief en zijn deze in Ierland niet verplicht.

2.1 Het onderwijssysteem

In Ierland bestaat het onderwijssysteem uit drie afzonderlijke fasen. Dit zijn:

- basisonderwijs
- middelbaar onderwijs (ook bekend als secundair onderwijs)
- hoger onderwijs (hogeschool/universiteit of voortgezet onderwijs/beroepsopleiding).

Kinderen zijn tussen zes en zestien jaar leerplichtig of tot ze minimaal drie jaar middelbaar onderwijs hebben genoten. Voorschools onderwijs wordt meestal verzorgd door particulier gefinancierde kinderopvangfaciliteiten en -aanbieders. Kinderen hoeven pas vanaf de wettelijke leeftijd naar school, maar het is gebruikelijk dat kinderen naar school gaan in de maand september na hun vierde verjaardag. Vier- en vijfjarigen worden ingeschreven in junior

of senior kleuterklassen. Als dit is afgerond, gaan ze nog zes jaar naar de basisschool. Deze klassen zijn genummerd van 1-6. Het onderwijsprogramma in het basisonderwijs omvat de volgende hoofdvakken: Taal, rekenen, sociale, milieu en wetenschappelijke vorming, kunsteducatie waaronder beeldende kunst, muziek en toneel, lichamelijke opvoeding, en persoonlijk sociale en gezondheidseducatie.

Rekenonderwijs vindt plaats van de kleuterklas tot en met de 6e klas lager onderwijs. De vaardigheden die moeten worden ontwikkeld zijn afgebakend en worden op een manier onderwezen die creativiteit en probleemoplossing stimuleert. Deze worden onderwezen door middel van discussie, het gebruik van materialen en praktische ervaring. Het belangrijkste doel is het ontwikkelen van vaardigheden in rekenen en rekenkundig denken en het stimuleren van rekenkundige verhandelingen. De belangrijkste doelstellingen van dit onderdeel van het onderwijs zijn:

- het kunnen toepassen van concepten en zorgen voor probleemoplossend vermogen
- het vermogen om rekenkundige concepten en constructies te communiceren en uit te leggen
- de integratie van het leren van concepten in één onderdeel, en deze ideeën in verband brengen met die uit een ander onderdeel van het onderwijsprogramma
- ontwikkeling van capaciteiten in de beredenering en de uitvoering
- het toepassen van de geleerde concepten en het ontwikkelen van het vermogen om deze na afloop van het leerproces te reproduceren.

Het lesmateriaal voor de kinderen is onderverdeeld in verschillende hoofdonderdelen:

- Getallen: Dit begint met vier onderdelen: Rangschikken, matchen, vergelijken en ordenen. Op kleuterniveau omvat dit ook tellen en het benoemen van getallen. In de eerste en tweede klas worden plaatswaarde, bewerkingen en breuken onderwezen. Decimalen komen in de derde klas aan de orde en percentages in de vijfde klas.
- Algebra: Dit vak is officieel erkend op alle niveaus en omvat patronen, sequenties, formules, gerichte getallen, regels en eigenschappen, variabelen en vergelijkingen.
- Vorm en ruimte: onderzoek van het ruimtelijk bewustzijn en de toepassing ervan in de vormen streng, vorm en ruimte. De focus ligt op praktijksituaties en omvat eenheden die te maken hebben met tweedimensionale en driedimensionale vormen, symmetrie, lijnen en hoeken.
- Maatstelsel: dit onderdeel bestaat uit zes eenheden die tot doel hebben instructie te geven over alle aspecten van meten en schatten. De onderwerpen worden ondersteund uit lesmateriaal over lengte, oppervlakte, gewicht, volume, tijd en geld.
- Gegevens en kansberekening: In dit deel van het lesprogramma wordt materiaal gepresenteerd over het interpreteren en begrijpen van visuele representaties. Kansberekening bevordert denken, discussie en besluitvorming en wordt bij kinderen geïntroduceerd in de vorm van spelletjes en sportieve activiteiten.

Het middelbaar onderwijs bestaat uit een onderbouw van drie jaar gevolgd door een tweejarige of driejarige bovenbouw, afhankelijk van de vraag of er na het examen voor het onderbouwdiploma een overgangsjaar wordt gevolgd. Leerlingen beginnen over het algemeen

op 12-jarige leeftijd aan de onderbouw. Het onderbouwdiploma wordt na drie jaar geëxamineerd. Wiskunde in de onderbouw heeft tot doel '[...] de benodigde wiskundige kennis, vaardigheden en begrip te ontwikkelen voor permanente educatie, leven en werk.' [8] De belangrijkste doelstelling is het ontwikkelen van vaardigheden in het omgaan met wiskundige concepten in context en toepassingen, en bij het oplossen van problemen. Het heeft verder tot doel de ontwikkeling van lees- en rekenvaardigheden te ondersteunen en bij de leerling een positieve houding ten aanzien van wiskunde te bevorderen. Leerlingen kunnen wiskunde op meerdere niveaus volgen. Dat zijn het algemeen en het hoger niveau (ook wel 'honours' genoemd). Zeer weinig blinde leerlingen doen een poging om honours te doen of wiskunde op een hoger niveau te volgen. De redenen hiervoor zijn complex. Ten eerste is de benodigde studietijd voor het wiskunde-examen op hoger niveau behoorlijk veel. Leerlingen en docenten zijn van mening dat een dergelijke extra inspanning voor dit vak de cijfers van andere vakken negatief zou beïnvloeden. Ten tweede krijgen blinde en slechtziende leerlingen Ierse leerlingen maar tien minuten per uur extra bij staatsexamens, ongeacht het vak. Gezien de benodigde hoeveelheid extra tijd om wiskunde te lezen en op te lossen, zijn velen van mening dat de beschikbare tijd absoluut onvoldoende is om blinde en slechtziende leerlingen in staat te stellen examen te doen op het vereiste niveau.

Het lesprogramma bestaat uit de volgende onderdelen:

- statistiek en kansberekening
- geometrie en goniometrie
- getallen
- algebra
- functies.

Omdat de inhoud van zowel de gewone als de hogere variant van onderwijsprogramma zeer uitgebreid is, wordt de lezer verwezen naar [9, 10], voor alle relevante detailinformatie.

Tijdens de laatste twee jaar van de bovenbouw volgen de leerlingen één van de drie programma's die elk opleiden voor een staatsexamen: het officiële Leaving Certificate, het Leaving Certificate Vocational Programme of het Leaving Certificate Applied. Het officiële Leaving Certificate is de belangrijkste basis voor de toewijzing van een plaats op een universiteit, technisch instituut of hogeschool. Het Leaving Certificate Vocational Programme onderscheidt zich van het officiële Leaving Certificate in dat het gefocust is op technische vakken en dat er aanvullende modules in zijn opgenomen gericht op de beroepspraktijk.

Het belangrijkste doel van het Leaving Certificate Applied Programme is de voorbereiding van deelnemers op het volwassen- en beroepsleven door relevante leerervaringen. Deze hebben tot doel de volgende aspecten van de menselijke inspanningen te ontwikkelen: spiritueel, intellectueel, sociaal, emotioneel, esthetisch en lichamelijk. Het Leaving Certificate Applied geeft niet direct toegang tot een opleiding op het derde niveau, maar biedt leerlingen de mogelijkheid om een Post-Leaving Certificate-opleiding te volgen. Deze opleidingen zijn typisch beroepsmatig van aard en fungeren als brug tussen het middelbaar onderwijs en het derde niveau. Het is de moeite waard om op dit moment te vermelden dat,

omdat het aantal blinde en slechtziende leerlingen in Ierland zo klein is, gegevens over de aantallen leerlingen die een variant van Leaving Certificate afleggen, niet beschikbaar zijn. Hoewel anekdotisch bewijs uit andere bronnen zou kunnen worden verkregen, zou deze auteur als hij daarvan gebruikmaakt, in strijd zijn met de nieuwe AVG-regelgeving. Daarom zijn er in dit deel van het verslag maar zeer weinig numerieke gegevens opgenomen, omdat dit vooral speculatief zou zijn.

De doelstellingen van wiskunde binnen het Leaving Certificate zijn gebaseerd op belangrijke principes. Het is ontwikkeld om conceptueel begrip en begrip van wiskundige concepten, bewerkingen en relaties te bevorderen. Ten tweede is het bedoeld om vaardigheden aan te reiken om procedures flexibel, nauwkeurig, efficiënt en adequaat uit te voeren. In de derde plaats is het de bedoeling om leerlingen in staat te stellen wiskundige problemen te formuleren, weer te geven en op te lossen in bekend en onbekend verband. Wanneer leerlingen het Leaving Certificate hebben behaald, moeten ze het volgende beheersen: logisch nadenken, reflecteren, verklaren, onderbouwen en communiceren.

Het onderwijsprogramma van het Leaving Certificate bestaat uit vijf onderdelen:

- statistiek en kansberekening
- geometrie en goniometrie
- getal
- algebra
- functies

Hierbij moet worden opgemerkt dat de nadruk ligt op meetkunde, toegepaste kansberekening en statistiek; allemaal onderwerpen met veel visuele inhoud. De nadruk ligt echter minder op rekenen en lineaire algebra. Vectoren en matrices zijn volledig uit het lesprogramma verwijderd; dit is allemaal minder visueel van aard. Daarom zou je kunnen stellen dat door deze aanpassingen het wiskundeonderwijs exclusiever is geworden voor blinde/slechtziende leerlingen, in plaats van inclusiever. In feite is dit argument aangevoerd door AHEAD [11], die hebben gesteld dat door meer visuele dimensies binnen de nieuwe lesprogramma's van Project Maths, blinde/slechtziende leerlingen nu voor nog grotere uitdagingen staan om toegang te krijgen tot en betrokken te raken bij het lesprogramma.

Omdat de inhoud van zowel de gewone als de hogere variant van onderwijsprogramma heel uitgebreid is, verwijzen we de lezer naar [8], voor complete detailinformatie.

In het Verenigd Koninkrijk kent het onderwijs vijf fasen: voorschools, basis-, middelbaar, voortgezet (FE) en hoger onderwijs (HE). Onderwijs is verplicht voor alle kinderen tussen 5 (4 in Noord-Ierland) en 16 jaar. FE is niet verplicht en heeft betrekking op niet-geavanceerd onderwijs dat kan worden gevolgd aan andere (waaronder tertiaire) onderwijsinstellingen en instellingen voor hoger onderwijs (HEI's). De vijfde fase, hoger onderwijs, is onderwijs boven

GCE A-niveau en het equivalent daarvan, dat in het geval van de meeste voltijd leerlingen, plaatsvindt op de universiteit en andere instellingen voor hoger onderwijs en hogescholen. In het geval van het Verenigd Koninkrijk is het belangrijk dat, hoewel dat als één land wordt beschouwd, er regionale verschillen bestaan tussen de diverse onderwijssystemen die binnen dit rechtsgebied van toepassing zijn. Het voert te ver om in het kader van deze korte verhandeling dieper te graven in de details van elke variant. Een korte verwijzing naar dit systeem is hier dus alleen bedoeld ter referentie en vergelijk. We moeten ook niet vergeten dat de onderwijssystemen van beide landen veel gelijkenissen vertonen door de eeuwenlange gemeenschappelijke geschiedenis. De terminologie om die te beschrijven is iets anders, maar in de praktijk komen ze op hetzelfde neer.

De primaire fase omvat drie leeftijdscategorieën: kleuter (jonger dan 5 jaar), jonge kinderen (5 tot 7 a 8 jaar) en junior (tot 11 a 12 jaar). In Schotland en Noord-Ierland wordt over het algemeen geen onderscheid gemaakt tussen kleuter- en lagere scholen. In Wales zijn de typen scholen hetzelfde, maar de eerste fase, de zogenaamde 'Early Years' (3 tot 5-jarigen), en het onderwijs aan kinderen van 5 tot 7-jaar, is samengevoegd in één onderwijsfase voor kinderen van 3 tot 7 jaar. In Engeland zijn basisscholen over het algemeen bedoeld voor kinderen van 4-11 jaar. Het is gebruikelijk om op 11-jarige leeftijd (in Engeland, Wales en Noord-Ierland) of 12 jaar (in Schotland), direct naar de middelbare school te gaan, maar in Engeland maken sommige kinderen de overstap via een middelbare school voor diverse leeftijdsgroepen tussen de 8 en 14 jaar. Afhankelijk van de individuele leeftijdscategorieën worden middelbare scholen ingedeeld als lagere of middelbare school.

De belangrijkste doelstellingen van het basisonderwijs zijn dat alle leerlingen basiskennis en rekenvaardigheid opdoen en dat een basis wordt gelegd op het gebied van exacte wetenschappen, wiskunde en andere vakken.

In het Verenigd Koninkrijk zijn er diverse scholen op middelbaar niveau. In Engeland laten scholengemeenschappen leerlingen bijna altijd toe, ongeacht hun bekwaamheid en leervaardigheden. Ze nemen alle kinderen uit de wijk op, maar in bepaalde gebieden werken ze samen met andere scholen, gymnasia's bijvoorbeeld, die alleen leerlingen toelaten die op de basisschool een bepaald niveau hebben behaald.

Aan het einde van deze onderwijsfase worden leerlingen normaal gesproken ingeschreven voor een reeks externe examens. In Engeland, Wales en Noord-Ierland zijn dit meestal GCSE (General Certificate of Secondary Education), en Standard Grades in Schotland, hoewel er ook een aantal andere kwalificaties beschikbaar zijn. In Schotland studeren leerlingen voor de National Qualifications (NQ) (een tweejarige opleiding die uitmondt in examens aan het einde van het vierde jaar middelbaar onderwijs), en de NQ Hoger onderwijs, waarvoor minimaal nog een jaar middelbaar onderwijs vereist is.

'Het nationale leerprogramma voor wiskunde heeft tot doel te zorgen dat alle leerlingen:

- de grondbeginselen van de wiskunde perfect onder de knie krijgen, onder meer door gevarieerde en regelmatig te oefenen met steeds na verloop van tijd steeds moeilijkere opgaven zodat leerlingen:

conceptueel inzicht ontwikkelen en het vermogen om snel en effectief kennis op te roepen en die toe te passen

- mathematisch kunnen beredeneren door een onderzoekslijn te volgen, en daarbij relaties en generalisaties veronderstellen, en een argument, rechtvaardiging of bewijs ontwikkelen met behulp van wiskundige taal
- problemen kunnen oplossen door wiskundige kennis toe te passen op diverse routinematige en niet-routinematige problemen met toenemende verfijning, waaronder het opsplitsen van problemen in een reeks simpelere stappen en met volharding zoeken naar oplossingen' [12]

Het wiskundig lesprogramma dat in het Verenigd Koninkrijk wordt gevolgd, lijkt erg op het lesprogramma dat in Ierland wordt onderwezen. De lezer wordt verwezen naar [12, 10] voor meer gedetailleerde uitleg van de inhoud.

2.2 Beoordeling en examinering

Erkend wordt dat examens in een standaardformat een grote uitdaging kunnen zijn voor blinde/slechtziende leerlingen [13]. Om deze uitdagingen het hoofd te bieden, hebben blinde/slechtziende leerlingen recht op een redelijk aantal aanpassingen van de staatsexamens. In Ierland moeten deze aanpassingen worden aangevraagd via de Reasonable Accommodations at the Certificate Examinations (RACE). RACE helpt kandidaten met speciale onderwijsbehoeften (SEN) om hun kennis en vaardigheden aan te tonen door staatsexamens af te kunnen leggen met behoud van integriteit van de beoordeling en onder toepassing van dezelfde prestatienormen als voor de andere kandidaten [14]. De beschikbare aanpassingen voor blind/slechtziende kandidaten zijn onder andere:

- extra tijd (tien minuten per uur, maar maximaal dertig minuten)
- recht op groter examenpapier A3 formaat
- uitgeprinte versies van gewijzigde examenteksten
- brailleversies van gewijzigde examenteksten
- lezer of leesassistent, aanpassingen op het gebied van schrijven in de vorm van een tekstverwerker, opnameapparaat, een scribent [14].

Het is belangrijk om even stil te staan bij de soorten aanpassingen die in Ierland mogen worden gedaan aan examenteksten. In de aangepaste versies van examens mogen schema's en andere afbeeldingen worden verwijderd of vereenvoudigd, en taken die het tekenen van schema's inhouden, mogen worden vervangen door andere activiteiten met een vergelijkbare opdracht. Bij examens in braille worden tactiele schema's met een legenda in braille meegeleverd. Kandidaten kunnen de beschikking krijgen over aangepaste examens in print (A4 of A3 formaat) en braille, maar niet over zowel de aangepaste als de niet aangepaste examens. Kandidaten die over aangepaste stukken beschikken, krijgen bij hun cijfer een aantekening waarin staat: 'Alle examenonderdelen van dit onderwerp zijn beoordeeld, behalve

de toetsing van de grafische vaardigheden in geschreven stukken.’ [14] Uit deze verklaringen van de SEC kan worden opgemaakt dat de aanpassingen in de wiskunde-examens alleen betrekking hebben op de weergave van de schematische informatie.

In het Verenigd Koninkrijk wordt op een zeer vergelijkbare manier omgegaan met examens. De examens worden aangepast door zogenaamde 'examanaanpassers.' Bij het aanpassen van examens moeten de volgende criteria in acht worden genomen:

- De aangepaste vraag moet dezelfde vaardigheden, kennis en concepten toetsen als de oorspronkelijke vraag in het gedrukte examen en de kandidaat in staat stellen om in vakken van het nationale onderwijsprogramma, te voldoen aan dezelfde toetsingscriteria.
- De vraag moet even moeilijk zijn als de oorspronkelijke vraag.
- Bij elke aanpassing moet de balans van het oorspronkelijke examendocument intact blijven, zowel wat betreft de inhoud als de weging van de vragen.
- Een aangepaste vraag mag niet tot gevolg hebben dat kandidaten onevenredig veel tijd kwijt zijn om relatief weinig punten te behalen.
- Wanneer aanpassing van een bestaande vraag niet mogelijk is, kan de aanpasser een vervangende vraag voorstellen die aan dezelfde toetsingscriteria probeert te voldoen, zodat de Examencommissie deze kan goedkeuren. Indien een vervangende vraag door de Examencommissie onaanvaardbaar wordt geacht, dienen de aanpasser met de Examencommissie overleggen om te bepalen welke actie moet worden ondernomen, met inachtneming dat de kandidaat zo min mogelijk mag worden verstoord en verward.’

Misschien is zorgen dat ze genoeg tijd hebben om de vragen op een bevredigend niveau te beantwoorden, wel het belangrijkste aspect van het bieden van speciale hulp aan blinde/slechtziende leerlingen in een examensituatie. Er bestaan mechanismen om hiervoor te zorgen. In het Verenigd Koninkrijk krijgen blinde leerlingen extra tijd in stappen van 25%, 50% en meer, mocht dat nodig zijn. Dit staat in schril contrast met de situatie in Ierland (zie hierboven), waar slechts tien minuten extra per uur worden toegekend met een maximum van 30 minuten. Bij vakken als wiskunde (en andere bèta-/technische vakken) lijkt dit volstrekt onvoldoende.

Voor meer informatie over de manier waarop examens worden afgenomen in het Verenigd Koninkrijk, zie [15].

2.3 Onderwijsmethoden

Onderwijs- en lesmethoden zijn gekoppeld aan het vermogen van blinde/slechtziende leerlingen om toegang te krijgen tot het vak wiskunde [11, 16, 17, 18]. De consensus van deze auteurs lijkt te zijn dat flexibele en ondersteunende onderwijsstrategieën fundamenteel zijn om te zorgen dat blinde/slechtziende leerlingen hun volledige potentieel kunnen benutten wanneer ze wiskunde volgen. Het is van vitaal belang dat leerkrachten de persoonlijke behoeften van de blinde/slechtziende leerlingen die ze onderwijzen begrijpen, omdat deze behoeften variëren afhankelijk van de visuele handicap, d.w.z. blindheid of slechtziendheid [11]

Bij het onderwijzen van wiskunde moeten leerkrachten wijzigingen aanbrengen in het lesmateriaal en hun onderwijsmethoden om tegemoet te komen aan de unieke behoeften van blinde/slechtziende leerlingen in de klas [19]. In [17] hebben de auteurs vastgesteld dat de onderwijsmethode die vaak wordt toegepast bij de wiskundeles, 'chalk and talk', dat vooral gericht is op wat de leraar zegt en uitgewerkte voorbeelden op het schoolbord, een negatieve invloed heeft op de betrokkenheid van blinde/slechtziende leerlingen bij het vak wiskunde en de schoolprestaties van leerlingen met een visuele beperking. Het opnemen van een grote hoeveelheid gesproken informatie over wiskunde zonder verwijzing naar wat er op het schoolbord gebeurt, stelt hoge eisen aan het geheugen [20]. Gemeld werd dat [17], omdat de meeste reguliere leerkrachten geen kennis hebben van braille en wiskundig braille, dit een extra obstakel betekende voor visueel gehandicapte leerlingen, vooral wat betreft het vak wiskunde.

Deelnemers aan het onderzoek gaven in [17] te kennen dat het zeer nuttig was als ze vóór de les toegang hadden tot lesmateriaal in een toegankelijk format, maar dat dit helaas niet altijd het geval was. Daardoor hadden de leerlingen het gevoel dat ze altijd achterop liepen. leerlingen die uitsluitend afhankelijk waren van braille om wiskundige vergelijkingen te kunnen lezen of oplossen, zaten vaak langere tijd zonder het belangrijkste lesmateriaal.

Bij het onderwijzen van wiskunde maken leerkrachten gebruik van diverse methoden. Laptops en tablets worden gebruikt in combinatie met een elektronisch whiteboard. Interessant is dat in de fase van gegevensverzameling van dit onderzoek, er een behoorlijk verschil bleek te bestaan tussen de methoden die in het reguliere onderwijs worden gehanteerd en die in het speciaal onderwijs. In een reguliere lesomgeving zal de leerkracht laptop en/of tablet gebruiken om diverse soorten lesmateriaal weer te geven op een interactief whiteboard. De leerkracht kan bijvoorbeeld voorbeelden uit het desbetreffende lesboek tonen en uitgewerkte voorbeelden uit het lesboek laten zien. De leerkracht zal ook de uitkomsten van de opgaven toelichten met grafieken met behulp van grafische rekenmachines, of video's van YouTube weergeven. Het is opmerkelijk dat software zoals Desmos [21] niet lijkt te worden gebruikt door de respondenten.

Op scholen voor speciaal onderwijs wordt een veel minder technische aanpak gehanteerd. Hier hanteert de leerkracht een traditionelere benadering en schrijft in zwart-wit op het schoolbord en bespreekt de opgave. Er wordt op gewezen dat de reden hiervoor niet zozeer te wijten is aan een andere onderwijsaanpak, maar eerder aan specifieke problemen waarmee de school zelf kampt. Enkele jaren geleden zijn de schoolgebouwen zwaar beschadigd door onweer en brand als gevolg daarvan. Daardoor zitten ze nu in een tijdelijke accommodatie zonder veel van de faciliteiten die in andere reguliere scholen wel beschikbaar zijn. Het zal interessant zijn om dit onderwerp in de komende jaren opnieuw te bekijken wanneer het nieuwe pand is betrokken en de benodigde apparatuur en faciliteiten beschikbaar zijn.

Wat betreft infrastructuur is de beschikbaarheid daarvan zeer wisselend. Door het ontbreken van breedbandinternet op het Ierse platteland is de aanwezigheid van internet op school niet zeker. De manier waarop technologie wordt ingezet in de hele onderwijssector, is dus afhankelijk zijn van de locatie van de school. Ook de IT-kennis van docenten is wisselend. Sommige leerkrachten omarmen technologie terwijl veel anderen de ouderwetse manier verkiezen van informatie geven via 'chalk-and-talk'.

2.4 Toegang tot wiskunde voor blinde leerlingen

Om de methoden te begrijpen die blinde leerlingen gebruiken om toegang te krijgen tot wiskunde in Ierland, is het eerst nodig om uit te leggen en te schetsen hoe die materialen worden geleverd. Zoals in [7] wordt verklaard: 'de National Braille Production bij Childvision is gestart om tegemoet te komen aan de onderwijsbehoeften van kinderen met een visuele beperking in het basis- en het secundair onderwijs. Onze braille- en alternatieve transcriptiedienst is officieel geopend op 1 september 2000.'

Dit is een nationale dienst die toegang biedt tot educatief materiaal door omzetting in een reeks formaten die toegankelijk zijn voor kinderen met een visuele beperking.

De formaten die momenteel worden aangeboden, zijn: Braille, tactiele schema's, MOON, Large Print, DAISY-boeken (toegankelijke mp3-bestanden) en aangepaste tekstbestanden voor gebruik met spraakuitvoer, uitvergrotingssoftware of op verschillende elektronische braille-uitvoerapparaten. Alle transcripties zijn uitgevoerd volgens erkende nationale en internationale richtlijnen [7]

Het is vermeldenswaard dat deze organisatie niet alleen materialen in braille levert, maar nu ook een dienst heeft (bekend als 'Online Bookshelf') die het mogelijk maakt om materialen te downloaden op apparatuur die digitale formaten zoals DAISY ondersteunt [22]. Om materiaal van deze dienst te verkrijgen, moet een verzoek worden ingediend via de 'Visiting Teacher' die belast is met het werken met het kind in kwestie.

Het merendeel van de wiskundige inhoud wordt geproduceerd met behulp van de code Unified English Braille (UEB) [23]. Hoewel elektronische brailletoestellen steeds populairder worden, krijgen alle kinderen een papieren exemplaar van alle schoolboeken. Het proces van het produceren van lesmateriaal in een toegankelijk format voor blinde/slechtziende leerlingen wordt bemoeilijkt omdat uitgevers niet verplicht zijn de boeken in digitale (bron) vorm aan te bieden. Daardoor moet de afdeling Reading Services van Childvision [7]:

1. een papieren versie van het lesmateriaal aanschaffen
2. deze in Microsoft Word-format scannen
3. de nodige correcties handmatig aanbrengen.

Bij een tekstuele inhoud is dit proces al lastig genoeg, maar in het geval van wiskundige uitdrukkingen wordt het nog verder bemoeilijkt omdat de gebruikte OCR-software (Optical Character Recognition) dit soort inhoud niet kan verwerken. Daarom moet elke formule handmatig worden ingevoerd met behulp van de vergelijkingeneditor in Microsoft Word. Zodra dit proces is voltooid, kan het lesboek worden omgezet met in de handel verkrijgbare braillesoftware.

De reden waarom deze gegevens belangrijk zijn, is dat leerlingen vaak moeten wachten tot hun lesboeken zijn geproduceerd. In tegenstelling tot andere landen is er een overvloed aan lesboeken van verschillende uitgevers die het wiskundig onderwijsprogramma inhoudelijk dekken. Het gebrek aan informatie voor blinde leerlingen vormt een belangrijke belemmering voor goede prestaties op dit gebied.

In het algemeen is de apparatuur die blinde leerlingen in Ierland en het Verenigd Koninkrijk gebruiken voor toegang tot wiskunde, vergelijkbaar met de apparatuur die in andere landen wordt gebruikt. Dat zal geen verrassing zijn omdat het aanbod van Assistive Technology wereldwijd vergelijkbaar is. Daarnaast zien veel bedrijven die Assistive Technology voor blinden en slechtzienden ontwikkelen, Ierland en het Verenigd Koninkrijk als een verkoopregio. Dezelfde lokale verkopers verkopen dus aan beide jurisdicties. Leerlingen gebruiken meestal Brailnote Touch/Apex (geproduceerd door Humanware) of een vergelijkbaar product zoals BrailleSense geproduceerd door Hims Inc. Deze apparatuur is meestal gekoppeld aan een monitor zodat de leerkracht kan zien wat de leerling typt. Omdat moderne notetakers op Android draaien, is het aantal beschikbare applicaties voor leerlingen groter dan eerst, toen alleen oudere varianten van het Windows CE-besturingssysteem en maatwerk programma-suites beschikbaar waren voor dit soort notetakers. De positieve kanten van programma's als Brailnote of BrailleSense is dat ze UEB-converters hebben. Dat betekent dat de leerling, althans in theorie, wiskunde in braille kan invoeren en dat de leraar hier gemakkelijk toegang toe heeft in afgedrukte vorm. Maar gezien het zeer contextgevoelige karakter van braille en de inherente problemen bij het omzetten van contextgevoelige grammatica naar contextvrije grammatica, zullen er altijd fouten optreden bij het omzetten. Hoewel die tot een minimum kunnen worden beperkt, is het zorgelijk dat iets wat door de leerling correct is ingevoerd in braille, niet nauwkeurig wordt omgezet naar print. Dit is vooral van belang bij examens.

Voor degenen die geen braille beheersen, zijn de mogelijkheden beperkter. Door blinde gebruikers wereldwijd worden laptops gebruikt met een screenreader (JAWS/NVDA). Hoewel deze twee screenreaders nu in beperkte mate ondersteuning bieden voor wiskundige inhoud, is die onvoldoende om leerlingen in staat te stellen wiskunde te volgen op hoger niveau. De reactie van een 'visiting teacher' is hier woordelijk vermeld om de problemen te schetsen:

'Een van mijn leerlingen doet volgend jaar examen voor het Leaving Certificate. Ze is kort geleden blind geworden op traumatische wijze. Ze beheerst geen braille en heeft niet genoeg tijd om dat te leren omdat ze op het punt staat de middelbare school af te maken. Van alle vakken hebben we het lesmateriaal op haar laptop kunnen zetten, behalve wiskunde. Ze gebruikt JAWS en kan uitstekend typen. Om haar te helpen met wiskunde, heb ik haar gewone wiskundeboek (Teksten en opgaven 3 [24]) omgezet in een format dat JAWS herkent. Hoewel JAWS en andere screenreaders een aantal wiskundige symbolen kunnen herkennen, is dat niet de complete lijst die een leerling moet beheersen voor het eindexamen.'

Om dit te tackelen heeft de leerkracht een eigen notatie bedacht om het lesmateriaal weer te geven. Het is interessant dat en hier en in Nederland een notatie is bedacht waarbij een vergelijkbaar ontwikkelproces is gevolgd. Bij navraag wist de leraar die de notatie had bedacht, niet van het bestaan van AsciiMath [1] en vond dat er behoefte was aan een notatie op maat voor deze leerling. De aard van dit Ierse geval betekent dat oudere en traditionelere apparatuur nog vaak door blinde leerlingen wordt gebruikt. De braillemachine van Perkins is wellicht het meest gebruikte gereedschap om wiskundige vergelijkingen op te lossen. Dit kan komen door het gebrek aan ervaring van leerlingen met complexere apparatuur zoals braille-notetakers, of omdat het gebruik van papier een tweedimensionale interactie met het lesmateriaal mogelijk maakt, wat op andere apparatuur niet kan.

2.5 Toegang tot wiskunde voor leerlingen met een visuele beperking in Ierland.

De methoden en technieken die worden gebruikt door slechtziende personen zijn vergelijkbaar met de hierboven beschreven methoden en technieken. Omdat deze bevolkingsgroep toegang heeft tot wiskunde in gedrukte vorm (zij het in iets gewijzigde vorm), is het aantal beschikbare instrumenten mogelijk groter. Om wiskunde te lezen worden laptops gebruikt. Leerlingen maken gebruik van de gebruikelijke vergrotingssoftware die de inhoud vergroot. Word, en de ingebouwde vergelijkingeneditor, worden door leerlingen gebruikt om materiaal te lezen en om antwoorden weer te geven voor de docent. De meeste symbolen hebben sneltoetsen waarmee personen die deze leren gebruiken, snel informatie kunnen invoeren. Het is echter wel zo dat veel gebruikmaken van deze sneltoetsen, erg veel cognitieve belasting voor de gebruiker betekent. Het betekent dat de mentale middelen die normaal gesproken worden gebruikt om het lesmateriaal te begrijpen, worden gebruikt om dat in te voeren. Zoals bekend op het gebied van Human Computer Interactie, kan dit zorgen voor vermoeidheid en frustratie bij de gebruiker.

Tablets en smartphones spelen een steeds belangrijkere rol in de onderwijsmogelijkheden voor leerlingen met een visuele beperking. Het is nu bijvoorbeeld goed mogelijk om een foto te maken van het lesmateriaal dat door de leraar wordt gepresenteerd, en deze snapshots beschikbaar te hebben voor inzage en studie in de eigen tijd van de leerlingen. Toepassingen zoals grafische rekenmachines zijn een belangrijk hulpmiddel aan het worden voor deze leerlingen. Omdat die voornamelijk gebaseerd zijn op apps, kan reguliere Assistive Technology die door leerlingen wordt gebruikt om toegang tot de tablet te krijgen, ook worden gebruikt voor toegang tot deze hulpmiddelen. Het is interessant dat er nu apps bestaan die deze leerlingen gebruiken om hun handschrift vast te leggen en dat vervolgens om te zetten in tekst. Helaas wist de respondent die deze informatie verstreekte niet precies welke apps worden gebruikt en hoe effectief die zijn op wiskundig gebied. Nogmaals, direct citerend uit informatie die door één respondent is verstrekt:

'Per laptop zijn er diverse websites waar leerlingen informatie kunnen vinden over vakken, apps voor het invoeren van wiskundige vergelijkingen, enz. Mathematics, Khan academy, GeoGebra Classic, Quick Graph, GCSE Maths, Mathway, om een aantal producten te noemen dat mijn leerlingen hebben gebruikt. In de Appstore is het aanbod heel groot.'

Er kan ook op een vak worden gezocht op via internet/google/Firefox/YouTube, etc. Op internet zijn er allerlei websites die helpen met het vak wiskunde. Google classroom wordt ook vaak bezocht. Veel leerlingen met een visuele handicap maken gebruik van diensten zoals Edmodo. Deze websites bieden digitale interactieve klaslokalen aan. Het feit dat al het lesmateriaal digitaal wordt aangebonden, maakt het voor personen met een beperkt gezichtsvermogen mogelijk om daarmee te werken.

Zoals in het geval van de blinde leerlingen, is voor sommige onderwerpen geen technologische oplossing nodig. Vaak zijn concrete lesmaterialen een betere optie om dingen uit te leggen. Als de leerling volledig blind en nog jong is, dan zijn concrete materialen relevanter dan een hightech-oplossing. Voor leerlingen met een visuele beperking kan een uitvergroete print van het onderwerp in een geschikte lettergrootte en -type, in de juiste kleurcodering, nuttiger zijn dan welke technologie dan ook. Vaak schrijven slechtziende leerlingen hun antwoorden liever gewoon met de hand in een standaard of uitvergroot schrift. Ze kunnen gebruikmaken van aangepast of standaard grafiekpapier. Deze informatie is hier opgenomen om te benadrukken dat hoewel technologie weliswaar gemeengoed aan het worden is, die niet in de plaats is gekomen van de traditionelere vormen van interactie met inhoud.

2.6 Toegang tot diagrammen voor blinde en slechtziende leerlingen

In het geval van Ierland en het Verenigd Koninkrijk zijn de methoden van blinde en slechtziende leerlingen om diagrammen te verkennen, heel gebruikelijk. Veel scholen hebben toegang tot technologie (zoals Xyfuse en Piaf) om het beeldmateriaal te produceren dat blinde leerlingen nodig hebben. Het is echter niet mogelijk gebleken om vast te stellen of leerkrachten of andere assistenten bij speciale behoeften, over de nodige training beschikten om

diagrammen te produceren in een toegankelijk format. In 2017 is de afdeling Reading Services van Childvision [7] met een proefproject begonnen om voorstellingen van 3D-objecten te produceren met behulp van 3D-printers. Zoals vermeld in artikelen als [25] hebben vooral blinde kinderen liever toegang tot het object zelf dan tot een schematische weergave ervan. Hoewel er geen officiële studies zijn uitgevoerd naar de doeltreffendheid van dit nieuwe initiatief, is de informele feedback van docenten en leerlingen zeer positief. Het is niet bekend of in het Verenigd Koninkrijk een soortgelijk initiatief is uitgeprobeerd, of dat 3D-printing is gebruikt om toegang te geven tot 3D-objecten op dezelfde manier als in Ierland.

Volgens de informatie van de leerkrachten van de speciale school voor blinde kinderen is de meest gangbare manier om visuele objecten te verkennen het gebruik van zelfgemaakte modellen.

‘De leraar die vroeger de leiding had over de afdeling wiskunde, is met pensioen,’ vertelt een leraar, ‘en hij heeft allerlei lesmateriaal achtergelaten. Hij gebruikte de kartonnen kokers uit van toiletrollen, met papier beplakte blikken en allerlei ander afvalmateriaal. Hij heeft in de loop der jaren een enorme collectie opgebouwd.’ Het belang van de ervaringskennis van leerkrachten kan niet genoeg worden benadrukt. In het geval van de bovenstaande informatie had de leraar die deze voorwerpen maakte, meer dan veertig jaar met blinde en slechtziende leerlingen gewerkt. Naast deze zelfgemaakte voorwerpen is het gebruikelijk om rubberen matjes en dunne vellen plasticfolie te gebruiken om diagrammen zoals grafieken etc. weer te geven. De lezer beseft misschien niet dat je wanneer je een dun vel papier op een zacht, met rubber bekleed oppervlak legt en je een afbeelding op het plasticfolie tekent, die in spiegelbeeld op de achterkant van het rubberen matje komt. Deze rudimentaire maar effectieve manier om schema’s aan blinde leerlingen over te brengen, wordt in Ierland en het Verenigd Koninkrijk al jaren toegepast.

De voorkeur voor deze schijnbaar primitieve methode om schema’s te maken, heeft twee redenen. Ten eerste is technologie pas de laatste jaren een belangrijke rol gaan spelen in het onderwijs aan kinderen in Ierland en het Verenigd Koninkrijk. Ook vinden veel docenten het beter om een ruwe schets van een grafiek te maken met behulp van een rubberen matje en plasticfolie dan complexe hard- en software te gebruiken om min of meer hetzelfde resultaat te bereiken. Dit gezichtspunt komt erg overeen met de ideeën die zijn aangetroffen in [25].

Voor leerlingen met een beperkt gezichtsvermogen is het waarschijnlijk gemakkelijker om toegang te krijgen tot schematisch materiaal. Velen krijgen het lesmateriaal gepresenteerd door het beeld te vergroten op een tablet of laptop. Dit leidt echter tot problemen die vergelijkbaar zijn met de problemen waarmee blinde leerlingen te maken krijgen bij het op de tast verkennen. Wanneer het diagram op het scherm wordt vergroot, is op een bepaald moment slechts een klein deel zichtbaar. Dan kan het dus voor leerlingen met een visuele beperking heel moeilijk zijn om zicht te krijgen op het totale beeld. Velen printen de afbeelding dus liever gewoon op een groot stuk papier om dat te voorkomen. Door gebruik te maken van deze meer rudimentaire aanpak, kunnen ze hun resterende gezichtsvermogen gemakkelijker gebruiken om het uitvergroete beeld om een totaalbeeld te krijgen. Verder moet worden

opgemerkt dat om dezelfde redenen en in dezelfde context, ook groter grafiekpapier wordt gebruikt

2.7 Bespreking

De aard van de Ierse context is zodanig dat een combinatie van traditionele en technologische methoden wordt gebruikt om blinde/visueel gehandicapte leerlingen toegang te geven tot wiskunde. Zoals benadrukt in [26] is het zorgelijk dat minder leerlingen met een visuele handicap naar de universiteit gaan en andere opleidingen op het derde niveau dan leerlingen uit andere bevolkingsgroepen. De in de vorige paragrafen gepresenteerde informatie heeft belangrijke implicaties voor de verdere ontwikkeling van de PlatMat-suite.

Ten eerste, om te zorgen dat de hulpmiddelen bruikbaar zijn in Ierland, de mogelijkheid om nauwkeurige brailleweergaven te produceren in UEB [23] en bovendien dat het mogelijk is om weergaven op papier in dit formaat te produceren. Hoewel de PlatMat-hulpmiddelen in Ierland nog niet officieel zijn geëvalueerd, was het team van Reading Services [7] bijzonder enthousiast over de keuze van Epub3 als format. Ze waren van mening dat, als de zaken rond gegevensinvoer van het materiaal snel konden worden opgelost, verdere ontwikkeling een haalbaar alternatief zou bieden voor het proces dat wordt beschreven in deel 2.4, dat momenteel wordt gehanteerd voor de productie van schoolboeken.

Zoals in deel 2.4 is opgemerkt, wordt steeds vaker gebruikgemaakt van elektronische braille-apparatuur en laptops. Zoals uit het voorbeeld van de Visiting Teacher blijkt, is het dus van groot belang dat de hulpmiddelen rekening houden met leerlingen die de voorkeur geven aan deze vorm. Op dit punt zijn er twee mogelijkheden. Zouden nieuwe hulpmiddelen moeten worden ontwikkeld op basis van innovatieve notatie die door de Visiting Teacher is ontwikkeld ter ondersteuning van haar/zijn leerling? Of moet onderwijs worden gegeven in een gestandaardiseerde notatie zoals AsciiMath [1] en daarmee de mogelijkheid worden geboden om andere software te gebruiken die gebruikmaakt van deze notatie? Verder onderzoek moet worden gedaan om vast te stellen hoe vaak deze nieuw ontwikkelde notatie wordt gebruikt. Als die de facto standaard is geworden onder personen die het onderwijs van blinde/slechtziende leerlingen verzorgen, dan moeten de hulpmiddelen die in het kader van het EuroMath-project worden ontwikkeld, daar rekening mee houden. Maar als die slechts door één persoon wordt gebruikt, dan is een deel van de uitkomsten van het project misschien lesmateriaal om leerkrachten in Ierland te ondersteunen bij het gebruik van notaties en andere software die gebruikelijk is in andere landen.

Het onderwijs aan blinde/slechtziende leerlingen in Ierland op het gebied van wiskunde staat op een punt waar oud en nieuw elkaar tegenkomen. EuroMath, dat is gebaseerd op eerder geïmplementeerde PlatMat-hulpmiddelen, is ideaal om de te kiezen richting te bepalen. Niet alleen zullen deze hulpmiddelen nuttig zijn voor leerlingen en hun leerkrachten, ook de 300 voorbeelden van best practices in het domein zullen zeer waardevol blijken te zijn. In gesprekken met leerkrachten van de speciale school, bestond veel enthousiasme voor het idee van uitwisseling van deze inhoud. Of dat kwam door een gebrek aan kennis over wat kan worden bereikt door gebruik te maken van technologische oplossingen, is niet bekend. Wel kan worden gezegd is dat projecten als EuroMath absoluut noodzakelijk zijn om leerlingen in

Ierland meer toegang te geven tot wiskunde en zo te zorgen dat die een veel grotere kans krijgen academisch en professioneel succesvol te zijn.

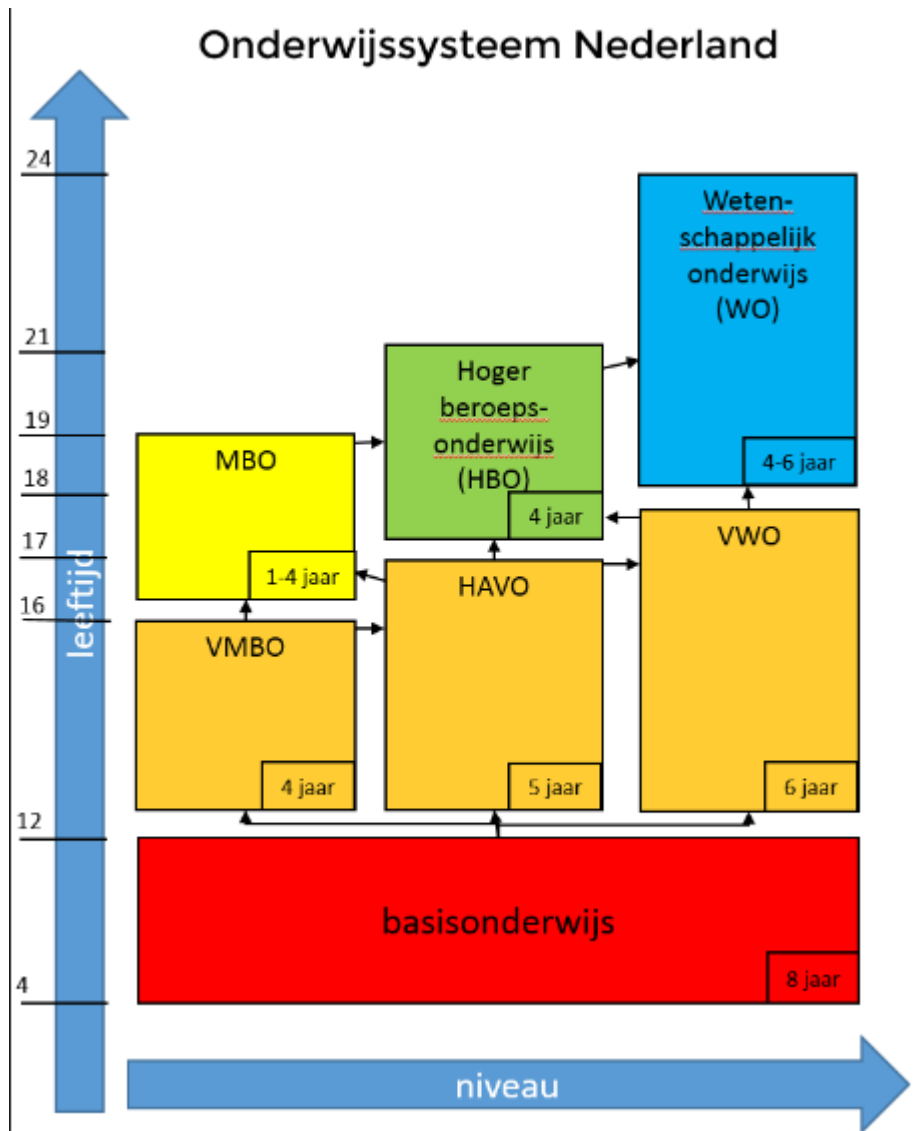
3 Wiskunde onderwijzen aan blinde en slechtziende leerlingen: de Nederlandse situatie

3.1 Onderwijs in Nederland

3.1.1 Inleiding tot het onderwijsstelsel

Hoewel de leerplichtige leeftijd voor school in Nederland vijf jaar is, start bijna elk kind zo snel mogelijk na zijn vierde verjaardag op de basisschool. Het eigenlijke leren begint in het derde jaar van het kind. Afhankelijk van de school worden vakken als biologie, aardrijkskunde, geschiedenis en zelfs Engels onderwezen. De nadruk ligt echter op lezen, schrijven en rekenen [27].

Tegen het einde van de basisschool, op de leeftijd van ongeveer twaalf jaar (zie Figuur 2), moeten kinderen een verplicht examen afleggen, de citotoets. Op basis van de resultaten van deze toets adviseren de leerkrachten voortgezet onderwijs op het niveau dat het meest geschikt is voor het kind. Kinderen met een hogere cito-score die naar het VWO (VWO) of de HAVO (algemeen voortgezet onderwijs) kunnen, zullen vrijwel zeker doorstromen naar het hoger onderwijs. Meer praktijkgerichte kinderen gaan naar het VMBO (beroepsvoorbereidend secundair onderwijs) voor een beroepsopleiding. Wanneer het kind naar het VWO gaat, zit het zes jaar op school en doet het eindexamen als het ongeveer achttien jaar oud is. Na het behalen van het VWO-examen kan het worden toegelaten tot de universiteit. Het HAVO-curriculum duurt vijf jaar geeft toegang tot hoger beroepsonderwijs aan een Hbo-opleiding. Er zijn vier onderwijsprogramma's voor VMBO-leerlingen, variërend van zeer praktisch tot meer theoretisch. Na vier jaar kan de leerling zijn opleiding voortzetten aan een Mbo-school (middelbaar beroepsonderwijs). Kinderen kunnen op basis van hun schoolprestaties in de loop van hun schoolcarrière overstappen naar een ander niveau. Zo kan een VMBO-leerling met veel hoge cijfers doorstromen naar Havoniveau en een Vwo-leerling die slecht presteert, terug naar Havoniveau [27].



Figuur 2 Het Nederlandse onderwijssysteem, 11 april 2018 [28]

3.1.2 Lerarenopleiding

Als iemand leraar in het basisonderwijs wil worden, moet hij/zij studeren aan een instelling voor hoger beroepsonderwijs (de zogenaamde 'PABO'). De PABO-leerlingen worden getraind in het onderwijzen van alle onderwijsprogramma's van het basisonderwijs. De initiële lerarenopleiding omvat een inleiding tot het onderwijzen van leerlingen met speciale behoeften. Gediplomeerde leerkrachten in het basisonderwijs mogen elk vak geven in het lager onderwijs en in het speciaal onderwijs op middelbaar niveau [29].

Bij het onderwijs in het regulier middelbaar onderwijs zijn er twee soorten onderwijskwalificatie:

- Lager secundair onderwijs: met deze zogeheten 'tweedegraads' kwalificatie mogen docenten onderwijs geven in de eerste drie jaar van het HAVO en VWO en alle jaren van het voortgezet beroepsonderwijs (VMBO/MBO). In het algemeen zijn docenten bevoegd om één specifiek vakgebied te onderwijzen. De opleiding voor dit niveau

wordt gegeven aan instellingen voor hoger beroepsonderwijs (de eerder genoemde Hbo-opleidingen).

- Volledige kwalificatie: met deze 'eerstegraads' kwalificatie mogen leraren lesgeven op alle niveaus in het middelbaar onderwijs. Over het algemeen mogen leraren één specifiek vak doceren. De opleiding tot eerstegraads docent wordt verzorgd door instellingen voor hoger beroepsonderwijs en universiteiten.

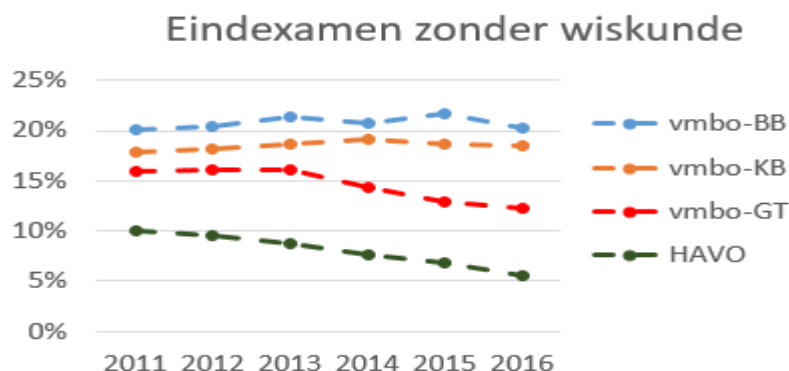
3.1.3 Verschillende wiskundige pakketten op HAVO en VWO

Op het VMBO zijn er drie programma's, elke opleiding biedt wiskundeonderwijs op een ander niveau, en op elk niveau leggen alle leerlingen hetzelfde examen af. Voor HAVO- en Vwo-leerlingen is dat anders. Aan het einde van het derde jaar voortgezet onderwijs kiezen HAVO- en Vwo-leerlingen vakken voor het eindexamen. Ze moeten kiezen uit vier zogeheten studieprofielen met elk een uniek vakkenpakket. Deze profielen zijn ingevoerd voor betere aansluiting op het vervolgonderwijs. De vier studieprofielen zijn als volgt: Natuur en Techniek (N&T) en Natuur en Gezondheid (N&G), Economie en Maatschappij (E&M) en Cultuur en Maatschappij (C&M).

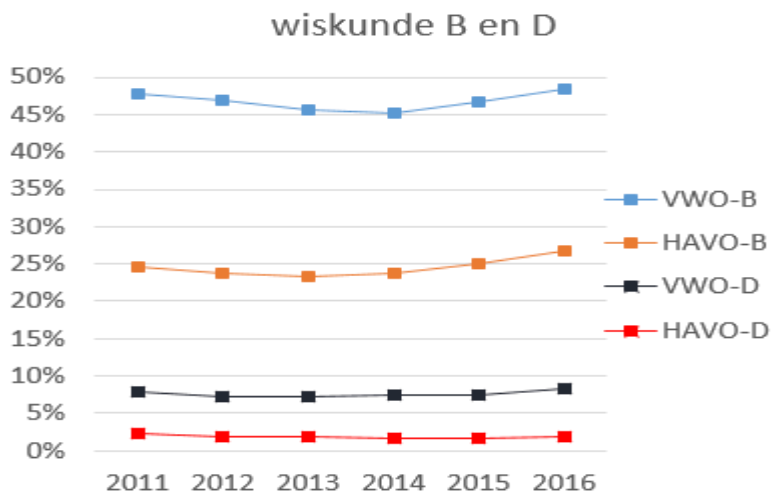
Op VWO zijn er vier wiskundige pakketten: wiskunde A (licht), wiskunde B, wiskunde C (ultralicht) en wiskunde D (extra). HAVO biedt dezelfde pakketten aan, behalve wiskunde C. Wiskunde D is een optioneel vak dat op geen enkele vervolgopleiding vereist is. Een leerling kan wiskunde D alleen volgen in combinatie met wiskunde B en alleen binnen het profiel Natuur en Techniek (N&T).

Elk profiel heeft een eigen wiskundig pakket, behalve het C&M-profiel op Havoniveau. In dit profiel is wiskunde niet nodig. Het moge duidelijk zijn dat wiskunde B, het moeilijkste pakket naast wiskunde D, vereist is binnen het profiel Natuur en Techniek.

Uit Figuur 3 blijkt dat in 2016 tussen de 13% en 20% van de leerlingen van de diverse VMBO-opleidingen, en ongeveer 95% van de Havoleerlingen, eindexamen hebben gedaan in wiskunde. Uit Figuur 4 blijkt dat in 2016 meer dan 25% van de Havoleerlingen en bijna 50% van de Vwo-leerlingen eindexamen wiskunde B hebben gedaan.



Figuur 3 Eindexamen zonder wiskunde (bron: <http://www.wiskundebrief.nl/762.htm>)



Figuur 4 Wiskunde B en D (bron: <http://www.wiskundebrief.nl/762.htm>)

(Sectie 3.8.1 omvat het gehele programma van de VWO wiskunde A, B en C).

3.2 Onderwijs aan visueel gehandicapte leerlingen

3.2.1 Inleiding

Visio (www.visio.org) en Bartiméus (www.bartimeus.nl) bieden onderwijs aan voor kinderen met een visuele handicap en blinde kinderen. Dit gebeurt op eigen scholen - scholen voor visueel gehandicapte leerlingen - en door begeleiding van leerlingen met een visuele beperking binnen het reguliere onderwijs. Visio en Bartiméus maken het door ambulante onderwijsondersteuning op reguliere scholen mogelijk dat visueel gehandicapte of blinde leerlingen naar een reguliere school kunnen gaan in een vertrouwde omgeving.

3.2.2 Ambulante onderwijsondersteuning

Ambulante onderwijsondersteuning is beschikbaar voor leerlingen in het basisonderwijs, in het speciaal onderwijs, in alle vormen voortgezet onderwijs, in het beroepsonderwijs (MBO), en indien nodig, aan het begin van het hoger beroepsonderwijs (HBO) of de universiteit. Ongeveer 89% van de visueel gehandicapte leerlingen en 47% van de blinde leerlingen in het basisonderwijs gaat naar een gewone school. Ongeveer 79% van de visueel gehandicapte leerlingen en ongeveer 36% van de blinde leerlingen in het secundair onderwijs gaat naar een gewone school [30]. In het reguliere onderwijs worden leerlingen met een visuele beperking begeleid door ambulante leerkrachten die bijna altijd gekwalificeerd zijn als leerkracht voor het basisonderwijs. De ambulante leerkracht helpt leerlingen met een visuele beperking om zo goed mogelijk deel te nemen aan het reguliere onderwijs. De ambulante leerkracht kan leerkrachten advies geven over een geschikte leeromgeving en over aanpassingen aan het lesmateriaal. Hij of zij adviseert niet alleen over bepaalde hulpmiddelen, maar biedt ook ondersteuning bij het gebruik ervan [31]).

3.2.3 Speciaal onderwijs

Speciaal basisonderwijs voor visueel gehandicapte leerlingen

Als een kind slechtziend of blind is en niet kan meekomen op een reguliere school, of als de school geen optimale aangepaste leeromgeving kan bieden, kan dit kind naar een school voor speciaal onderwijs. De leerkrachten zetten zich in om dezelfde kerndoelstellingen te behalen als op reguliere scholen, maar werken met aan de visuele handicap van de leerlingen onderdelen aangepast of aangevuld materiaal. Kinderen ontwikkelen dezelfde kennis en vaardigheden als hun leeftijdsgenoten in een reguliere omgeving. Omdat het cruciaal is dat iedereen de lessen kan volgen, is het tempo meestal lager en zijn de groepen klein: zes tot twaalf leerlingen per klas. Hoewel een school voor visueel gehandicapten in zekere zin een atypische school is, zijn er veel aanpassingen nodig vanwege de visuele beperkingen van de leerlingen: het ontwerp van de school en het klaslokaal, de keuze van lesmethoden en (aangepast) materiaal, het gebruik van hulpmiddelen en de didactische en pedagogische aanpak. De leerkrachten proberen de zichtbare wereld inzichtelijk te maken voor visueel gehandicapte leerlingen. Naast hun visuele beperking hebben veel leerlingen in het speciaal onderwijs ook andere problemen, sociaal-emotionele problemen en leerproblemen, zie bijvoorbeeld [32].

Speciaal middelbaar onderwijs voor visueel gehandicapte leerlingen

Slechtziende en blinde leerlingen die niet meer kunnen meekomen op een reguliere middelbare school, kunnen naar speciale onderwijsinstellingen. Op deze scholen kunnen leerlingen onderwijs volgen op alle niveaus, behalve VWO-niveau. De vereisten en de inhoud zijn hetzelfde als op reguliere middelbare scholen, maar het tempo om de school af te maken, ligt iets lager. Docenten bieden leerlingen een onderwijsprogramma op maat dat wordt aangepast aan de beperkingen van de leerlingen. De lesmaterialen en -methoden worden aangepast. Veel leerlingen maken gebruik van technische hulpmiddelen [32].

3.2.4 Ondersteuning voor wiskundeleraren die lesgeven aan visueel gehandicapte leerlingen in het reguliere middelbare onderwijs

Wiskundeleraren hebben maar weinig vertrouwen of ze visueel gehandicapte leerlingen wel adequate ondersteuning bieden in het onderwijs. Dit is vooral het geval wanneer leerlingen blind zijn. Daarom krijgen de blinde leerlingen en hun leerkrachten ondersteuning. Blinde leerlingen krijgen een wiskundekist met diverse materialen die kunnen worden gebruikt in de wiskundeles (zie Figuur 5). Een tactiele liniaal en een tactiel rasterbord bijvoorbeeld. Verder bieden Visio en Bartiméus eendaagse cursussen voor wiskundeleraren van blinde leerlingen aan.



Figuur 5 Wiskundekist voor blinde leerlingen in het reguliere middelbare onderwijs (bron <https://www.eduvip.nl/wiskundekist-voor-braille-en-zeer-slechtziende-leerlingen/>)

In deze face-to-face cursussen kunnen docenten ervaringen en kennis met elkaar uitwisselen. Ze leren en oefenen de wiskundige notatie voor blinde leerlingen. De leerkrachten imiteren het lezen op de brailleleesregel (zie Figuur 6) en lezen met een spraaksynthesizer, wat ze veel inzicht biedt in de uitdagingen waar blinde leerlingen mee te maken krijgen bij het lezen en begrijpen van wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen. De leerkrachten leren ook hoe ze blinde leerlingen kunnen leren tactiele en hoorbare grafieken te lezen.



Figuur 6 Brailleleesregel gekoppeld aan een laptop (bron: <http://www.hims-inc.com/product/braille-edge-40/>)

Naast deze cursussen is op EduVip [33] meer informatie beschikbaar voor leerkrachten. Deze website is door Visio en Bartiméus ontwikkeld en geeft veel informatie over het onderwijzen van visueel gehandicapte leerlingen.

Tot slot kunnen wiskundeleraren en visueel gehandicapte leerlingen, indien nodig, van een professional van Visio of Bartiméus persoonlijke ondersteuning voor wiskunde krijgen.

3.3 Onderzoek naar ondersteunende technologie voor visueel gehandicapte leerlingen

3.3.1 Onderzoek 2016 (Nederland)

In mei 2016 heeft Visio onderzoek gedaan naar het gebruik van hulpmiddelen door visueel gehandicapte leerlingen in het basis- en voortgezet onderwijs. 44 leerlingen van 10 tot 20 jaar, die naar een school voor visueel gehandicapte leerlingen gingen, hebben aan deze studie deelgenomen. Ze moesten een vragenlijst invullen. Verder kregen ze informatie van bezoekende docenten over hoe slechtziende leerlingen hun apparatuur in het reguliere onderwijs gebruikten. [34]

Op de speciale school maakte 100% van de slechtziende en blinde leerlingen ouder dan 10 jaar gebruik van een laptop. De blinde leerlingen werkten op een laptop met brailleleesregel en spraaksynthesizer. Alle blinde leerlingen kregen om te beginnen een cursus typevaardigheid. Na afloop van deze cursus, startten ze met een basaal programma in ICT-kennis. Bij aanvang van deze cursus waren de kinderen tussen 8 a 10 jaar oud. Ze kregen les in het gebruik van de laptop met een brailleleesregel en een spraaksynthesizer in Word, Outlook, Windows en op internet. Ze kregen afzonderlijke training van een half uur per week, die ongeveer twee jaar duurde. 95% van de blinde leerlingen maakte gebruik van de screenreader Jaws, 5% gebruikte NVDA. Van de slechtzienden gebruikte 15% schermvergroting van Windows, 32% schermvergroter Supernova, 8% schermvergroter Supernova plus spraaksynthesizer en 45% gebruikte geen extra apparatuur. 25% van de middelbare scholieren op deze school maakte gebruik van de smartphone als Daisyspeler. [35]

In het reguliere onderwijs begonnen de blinde leerlingen op 5- a 6-jarige leeftijd te werken op een laptop met brailleleesregel. Zij werden daarin getraind door de ambulante leraar. 95% van de slechtziende leerlingen vanaf 7 jaar, maakt gebruik van een laptop. 5% gebruikt een tablet: OS of Android. 35% van de slechtziende leerlingen maakt gebruik van een laptop plus een tablet. Veel van deze bevolkingsgroep maakt gebruik van een ingebouwde camera of software voor het delen van schermen om de inhoud van het whiteboard direct vanaf de computer van de leerkracht, naar de laptop of tablet van de leerlingen te verzenden via internet of wifi (bijv. via Join.me, TeamViewer of skype) [36]

Dedicon (www.dedicon.nl), de Nederlandse non-profit organisatie die informatie toegankelijk maakt voor mensen die geen print kunnen lezen, biedt bestanden aan in Word-format (het zogenaamde Edu-formaat), in PDF-formaat (bijv. pixel-, vector-, zwart-wit, kleur, beschermde omgeving) en in Daisy-formaat (bijv. Lex). Dedicon gebruikt de titels en de paginanummering in hun Word-documenten (analoog aan het gedrukte lesboek dat door ziende klasgenoten wordt gebruikt). Deze aanpassingen maken met Jaws of een andere schermlezer, snelle en eenvoudige navigatie in een Word-document mogelijk. Visueel gehandicapte leerlingen maken vaak gebruik van de PDF-Xchange Editor. Deze editor maakt het mogelijk om in PDF's te schrijven. Daarnaast hebben leerlingen de beschikking over een heel arsenaal aan hulpmiddelen, zoals linialen en roosters.

3.3.2 Onderzoek 2018 (Nederland)

Voor dit rapport is in 2018 een vragenlijst verzonden aan ambulante leerkrachten van visueel gehandicapte leerlingen in het reguliere voortgezet onderwijs en hen is gevraagd deze vragenlijsten door te sturen naar hun wiskundeleraren. 29 docenten die lesgeven aan visueel gehandicapte middelbare scholieren en 9 die lesgeven aan blinde middelbare scholieren, hebben deze vragenlijsten ingevuld.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** staan de uitkomsten van de leraren van slechtziende leerlingen. 72% van alle leerkrachten maakte in de wiskundeles gebruik van een interactief whiteboard. 52% van de slechtzienden maakte gebruik van een laptop. 58% van de slechtzienden vergrootte tekst, grafieken en tekeningen. 21% gebruikte meer contrast voor teksten op de laptop. 24% meer contrast bij grafieken en afbeeldingen. Eén visueel gehandicapte leerling maakte gebruik van een spraaksynthesizer. Er waren vier visueel gehandicapte leerlingen (14%) die gebruikmaakten van een touchscreen.

	Ja	Nee	Overige
1 Maakt u gebruik van een interactief whiteboard in de wiskundeles?	21	5	3
2 Van welke van de volgende apparatuur maken ziende leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?			
2a laptop	10	18	1
2b tablet	11	18	0
2c smartphone	7	19	3
3 Van welke van de volgende apparatuur maken slechtziende leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?			
3a laptop	15	13	1
3b tablet	7	21	1
3c smartphone	7	17	5
4 Hoe worden de hulpmiddelen gebruikt door slechtziende leerlingen?			
4a Tekst wordt uitvergroot op het scherm.	17	7	5
4b Grafieken en afbeeldingen worden uitvergroot op het scherm.	17	7	5
4c Tekst wordt op het scherm weergegeven met meer contrast.	6	16	7

4d Grafieken en afbeeldingen worden op het scherm weergegeven met meer contrast.	7	14	8
4e			
4f De tekst wordt omgezet in spraak met behulp van spraaksynthesesoftware	1	29	0
4g Slechtziende leerlingen maken gebruik van een touchscreen voor het oplossen van wiskunde-opdrachten	4	25	0

Tabel 1 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van 29 visueel gehandicapte leerlingen in het voortgezet onderwijs (regulier) in Nederland.

	Ja	Nee	Overige
1 Maakt u gebruik van een interactief whiteboard in de wiskundeles?	6		1
2 Van welke van de volgende apparatuur maken ziende leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?			
2a laptop	1	5	1
2b tablet	1	5	1
2c smartphone	1	3	3
3 Van welke van de volgende apparatuur maken blinde leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?			
3a laptop	7	0	0
3b tablet	0	7	0
3c smartphone	1	6	0
4 Hoe worden de hulpmiddelen gebruikt door blinde leerlingen?			
4a niet van toepassing op blinde leerlingen			
4b niet van toepassing op blinde leerlingen			
4c niet van toepassing op blinde leerlingen			
4d niet van toepassing op blinde leerlingen			
4e De tekst wordt weergegeven in braille	7	0	0
4f De tekst wordt omgezet in spraak met behulp van spraaksynthesesoftware	4	3	0
4g Blinde leerlingen maken gebruik van een touchscreen voor het oplossen van wiskundeopgaven.	0	7	0

Tabel 2 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van 29 blinde leerlingen in het voortgezet onderwijs (regulier) in Nederland.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** worden de resultaten getoond van wiskundeleraren van blinde leerlingen. 86% van de wiskundeleraren (6 van de 7) gebruikte een interactief whiteboard. Alle blinde leerlingen maakte gebruik van een laptop voor wiskunde. Alle leerlingen gebruikten een brailleleesregel. 57% van de blinde leerlingen gebruikte een brailleleesregel en een spraaksynthesizer. Geen blinde leerlingen maakte gebruik van het aanraakscherm.

Tot slot heeft Visio in 2018 een stappenplan ontwikkeld voor het gebruik van software. Zij verklaarden dat het belangrijk is dat:

- software platformonafhankelijk is, BYOD, iOS, Windows en Android bijvoorbeeld
- software en digitale inhoud, inclusief educatieve websites, voor 100% toegankelijk zijn
- de softwaretaal onafhankelijk van de taal van het besturingssysteem kan worden gewijzigd (onafhankelijke taalsturing).
- leerlingen altijd hun eigen vergrotingssoftware en software voor spraaksynthesizers kunnen gebruiken
- (indien mogelijk) gratis software wordt gebruikt.

3.3.3 Onderzoek 2018 (België)

In 2018 hebben we dezelfde vragenlijst verstuurd naar ambulante leerkrachten van visueel gehandicapte leerlingen in het regulier middelbaar onderwijs in België (Spermalie, Brugge) en hebben hen gevraagd deze vragenlijsten door te sturen naar hun wiskundedocenten. 7 wiskundedocenten die lesgeven aan slechtziende middelbare scholieren en 1 wiskundeleraar die lesgeeft aan een blinde middelbare scholier, hebben deze vragenlijsten ingevuld.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** staan de uitkomsten van de leraren van de gehandicapte leerling. 43% van alle leerkrachten maakte in de wiskundeles gebruik van een interactief whiteboard. 29% van de slechtzienden maakte gebruik van een laptop. 57% van de slechtzienden vergrootte tekst, grafieken en tekeningen. 17% meer contrast bij tekst, grafieken en afbeeldingen. Geen visueel gehandicapte leerling maakte gebruik van een spraaksynthesizer. Eén visueel gehandicapte leerling maakte gebruik van een touchscreen. Een wiskundedocent van een blinde leerling heeft de vragenlijst ingevuld. Zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** De leerling maakte gebruik van een laptop met brailleleesregel en spraaksynthesizer wanneer aan hij wiskunde werkte.

	Ja	Nee	Overige
1 Maakt u gebruik van een interactief whiteboard in de wiskundeles?	3	4	0
2 Van welke van de volgende apparatuur maken ziende leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?			
2a laptop	2	5	0
2b tablet	1	6	0
2c smartphone	1	5	1
3 Van welke van de volgende apparatuur maken slechtziende leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?			
3a laptop	2	4	1
3b tablet	1	6	0
3c smartphone	2	5	0
4 Hoe worden de hulpmiddelen gebruikt door slechtziende leerlingen?			
4a Tekst wordt uitvergroot op het scherm.	4	2	1
4b Grafieken en afbeeldingen worden uitvergroot op het scherm.	4	2	1

4c Tekst wordt op het scherm weergegeven met meer contrast.	1	6	0
4d Grafieken en afbeeldingen worden op het scherm weergegeven met meer contrast.	1	6	0
4e			
4f De tekst wordt omgezet in spraak met behulp van spraaksynthesoftware	0	6	1
4g Slechtziende leerlingen maken gebruik van een touchscreen voor het oplossen van wiskunde-opdrachten	1	6	0

Tabel 3 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van zeven visueel gehandicapte leerlingen in het voortgezet onderwijs in België.

	Ja	Nee	Overige
1 Maakt u gebruik van een interactief whiteboard in de wiskundeles?		1	
2 Van welke van de volgende apparatuur maken ziende leerlingen gebruik tijdens uw wiskundeles?		1	
2a laptop		1	
2b tablet		1	
2c smartphone		1	
3 Van welke van de volgende apparatuur maakt de blinde leerling gebruik tijdens uw wiskundeles?			
3a laptop	1		
3b tablet		1	
3c smartphone		1	
4 Hoe worden de hulpmiddelen gebruikt door blinde leerlingen?			
4a niet van toepassing op blinde leerlingen			
4b niet van toepassing op blinde leerlingen			
4c niet van toepassing op blinde leerlingen			
4d niet van toepassing op blinde leerlingen			
4e De tekst wordt weergegeven in braille	1		
4f De tekst wordt omgezet in spraak met behulp van spraaksynthesoftware	1		
4g Blinde leerlingen maken gebruik van een touchscreen voor het oplossen van wiskundeopgaven.		1	

Tabel 4 Resultaten van vragenlijsten ingevuld door wiskundeleraren van 29 blinde leerlingen in het voortgezet onderwijs in België.

3.4 Toegang tot wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen voor blinde en slechtziende leerlingen

3.4.1 Inleiding

In Nederland lezen blinde leerlingen in het voortgezet onderwijs zelden wiskundemateriaal in afgedrukt braille. Ze werken op een laptop met schermlezersoftware. Deze software probeert ze via braille of synthetische spraak, over te brengen wat ziende personen op het scherm zien en stelt blinde leerlingen in staat om wiskundige teksten te lezen en te begrijpen.

3.4.2 Lesboeken wiskunde en wiskundige notatie

Wiskundeboeken in Nederland worden toegankelijk gemaakt door Dedicon. Alle blinde leerlingen in het voortgezet onderwijs maken gebruik van boeken in Word-format. Afbeeldingen en grafieken kunnen in tactiele vorm worden verstrekt. E-learning producten die worden gebruikt door ziende klasgenoten, zijn vaak niet toegankelijk voor blinde leerlingen. Grafische rekenmachines die ziende leerlingen moeten gebruiken in het hoger secundair onderwijs in het HAVO en VWO, zijn ook niet toegankelijk voor blinde leerlingen. Als alternatief gebruiken de blinde leerlingen Excel in combinatie met AllerCalc.

Blinde leerlingen lezen de (wiskundige) tekst getypt in Word-format op de brailleleesregel en/of met een spraaksynthesizer. De leerkracht (of ziende klasgenoot) kan 'dezelfde' (wiskundige) tekst lezen op het beeldscherm van de laptop en hoeft geen braille te leren. De wiskundige notatie die op het scherm wordt weergegeven, is een lineaire notatie, zeer vergelijkbaar met Excel (zie

Tabel 5). Deze notatie maakt alleen gebruik van toetsen die op het QWERTY-toetsenbord staan. De weergave van de tekst is 'één op één' op een achtpunts brailleleesregel.

Notatie voor ziende leerlingen	Notatie in Word-format voor blinde leerlingen
x^2	x^2
$\sqrt{16 - 4x}$	sqrt(16 - 4x)
$\sin(\alpha + \beta)$	sin(~a + ~b)
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	x = (-b +- sqrt(b^2 - 4ac))/(2a)
$1 - \sqrt{\frac{x - 2}{x^2 - 4}} = 0$	1 - sqrt((x - 2)/(x^2 - 4)) = 0

Tabel 5 Wiskundige notatie voor ziende en blinde leerlingen

3.4.3 Wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen

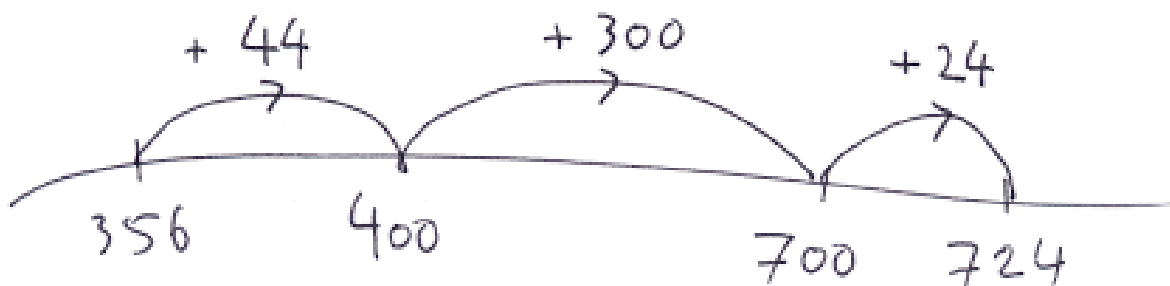
De weergave van wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen kan problemen opleveren omdat deze weergaven weinig context geven en zeer compact en niet-lineair van aard zijn. Verwarring met de braille-notatie en onvoldoende kennis en vaardigheden voor het gebruik

van brailleleesregels en synthetische spraak, stellen blinde leerlingen voor grote uitdagingen bij het leren van uitdrukkingen en vergelijkingen.

In november en december 2017 heeft Visio een pilot uitgevoerd met drie blinde leerlingen die van alle blinde leerlingen in Nederland, het best presteerden in het reguliere voortgezet onderwijs [37]. Ze hebben onderzocht hoe deze blinde leerlingen wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen lezen en begrijpen met behulp van een brailleleesregel en een spraaksynthesizer. De leerlingen hadden veel moeite met het decoderen, lezen en begrijpen van de uitdrukkingen en vergelijkingen in braille. Ze gebruikten ook de spraaksynthesizer, maar absoluut niet in dezelfde mate. Zo werden bijvoorbeeld wiskundige symbolen als '^' en '*' niet uitgesproken. De leerlingen werd niet geleerd hoe deze apparaten te gebruiken bij het maken van wiskundeopdrachten. Volgens de drie leerlingen is het voordeel van het gebruik van de brailleleesregel ten opzichte van een spraaksynthesizer dat je meer controle hebt, meer details en structuur ziet en minder geïsoleerd bent van medeleerlingen. Het voordeel van een spraaksynthesizer vergeleken met een brailleleesregel is de leessnelheid.

De meeste blinde leerlingen gebruiken een brailleleesregel en een spraaksynthesizer bij het oplossen van wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen. Sommige leerlingen gebruiken sneltoetsen zoals plakken, kopiëren, etc., om tijd te besparen bij het oplossen van wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen. De meeste blinde leerlingen hebben geleerd om zo min mogelijk tussenstappen uit te typen. Dat is jammer, want het uittypen van tussenstappen kan hun werkgeheugen ontlasten. Daarnaast krijgen leerlingen in het voortgezet onderwijs een lager cijfer als ze niet laten zien hoe ze het probleem hebben opgelost.

In het algemeen is het zeer nuttig als leerlingen hun eigen producten kunnen maken wanneer ze wiskundeopdrachten doen. Een voorbeeld van een dergelijk product is afgebeeld in Afbeelding 7. Het is een schets gemaakt door een ziende leerling. De schets hielp haar om $724 - 356$ uit te rekenen. Blinde leerlingen kunnen dit soort tekeningen niet maken.



Afbeelding 7 Eigen productie van een ziende leerling.

Visueel gehandicapte leerlingen kunnen lezen en schrijven in verschillende formaten zoals PDF, Word en op papier. Zij kunnen kiezen om de gewone wiskundige notatie te gebruiken of een lineaire representatie (d.w.z. die van blinde leerlingen).

3.5 Toegang tot grafieken voor blinde en slechtziende leerlingen in Nederland

3.5.1 Inleiding

De relatie tussen twee variabelen wordt vaak in een grafiek weergegeven. Grafieken kunnen worden weergegeven in een audio- of tactiel format. Een hoorbare grafiek is zeer geschikt voor het geven van een globaal beeld van de relatie tussen twee variabelen in minder dan een seconde. Een tactiele grafiek is geschikter voor meer detailinformatie. De relatie tussen twee variabelen kan ook in een tabel worden weergegeven. Leerkrachten moeten blinde leerlingen leren hoe ze de verschillende weergaven moeten gebruiken en selecteren. 'Het 'lezen' en maken van tactiele grafieken is zeer tijdrovend. Op een bepaald moment kunnen blinde leerlingen leren om grafieken mentaal weer te geven om tijd te besparen. Dit wordt in de onderstaande tekst uitgelegd.

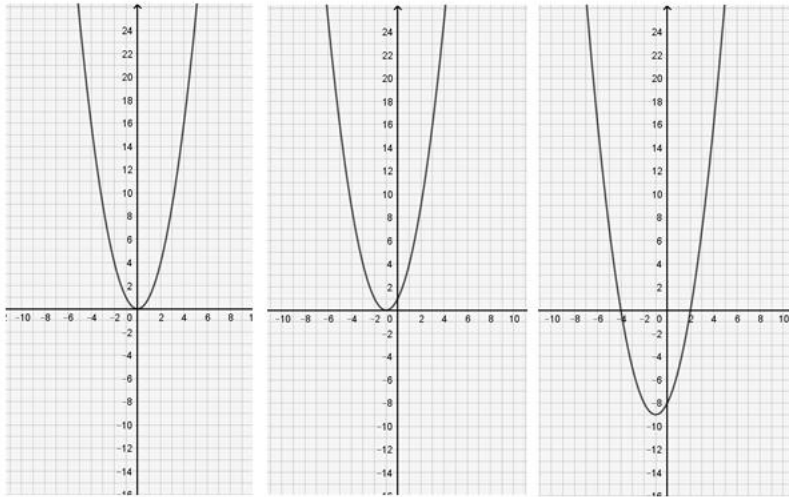
3.5.2 Een andere manier van naar grafieken kijken

In de wiskunde zijn er bepaalde soorten grafieken die je vaker ziet dan andere. Elk daarvan heeft zijn eigen functie waar de grafiek de uitkomst van is. In dit document richt de discussie zich alleen op grafieken van lineaire functies en die gebaseerd zijn op kwadratische functies.

De grafiek van de functie $y = x$ is een rechte lijn die door de oorsprong gaat met een hellingsgraad van 1. Braillelezers moeten deze grafiek weergeven op een tactiel raster en de specifieke kenmerken van deze grafiek bestuderen. Door de functie te transformeren kan de grafiek worden omgezet, gereflecteerd of op een andere manier worden aangepast. Neem bijvoorbeeld de functie $y = x + 3$. De grafiek van deze functie kan worden verkregen via de lijn $y = x$ door drie eenheden langs de y-as om te zetten. Als je dus leert hoe de grafiek van $y = x$ eruitziet, is het gemakkelijk voor te stellen hoe de grafiek van $y = x + 3$ eruitziet. Je hoeft deze grafiek niet te tekenen.

We geven nog een voorbeeld. De grafiek van $y = x^2$ heeft de vorm van een zogeheten parabool. Dit is een dalparabool. Braillelezers moeten deze grafiek op een tactiel raster maken en de kenmerken van deze grafiek bestuderen (bijv. de grafiek is symmetrisch, het is een dalparabool). De grafiek van $y = x^2 + 2x - 8$ kan worden verkregen uit de parabool $y = x^2$ door -1 eenheden langs de x-as en -9 eenheden langs de y-as om te zetten. Dit komt omdat de vergelijking gelijk is aan $y + 9 = (x + 1)^2$ (zie Afbeelding 8). Nogmaals, leerlingen hoeven deze grafiek niet te maken, ze kunnen zich voorstellen hoe die eruitziet.

Deze twee voorbeelden laten zien hoe grafieken veranderen door de verandering van functies. Wanneer leerlingen dit begrijpen, hoeven ze niet meer 'alle' grafieken te maken. Zij kunnen een nauwkeurige beschrijving van de vorm van de grafiek geven en de constructie van de grafiek omschrijven.



Afbeelding 8 Diverse parabolen, allemaal met de basisvorm $y = x^2$

Er zijn ook een aantal interessante softwareprogramma's waarmee leerlingen grafieken kunnen lezen en construeren. De meest gebruikte programma's voor ziende leerlingen in Nederland zijn Desmos (<https://www.desmos.com/>) en GeoGebra (<https://www.geogebra.org/>). Desmos is een geavanceerde grafische rekenmachine die steeds populairder wordt in het regulier voortgezet onderwijs. Deze rekenmachine is toegankelijk voor blinde leerlingen. GeoGebra is een interactieve applicatie voor meetkunde, algebra, statistiek en rekenen bedoeld voor het leren en onderwijzen van wiskunde van de lagere school tot op universitair niveau. Deze applicatie wordt vaak gebruikt door ziende leerlingen en wiskundedocenten in het voortgezet onderwijs. Ze is toegankelijk voor de meeste slechtziende leerlingen, maar niet voor blinde leerlingen.

3.6 Examens

3.6.1 Examens voor het reguliere voortgezet onderwijs

Het eindexamen middelbaar onderwijs bestaat uit een schoolexamen en een landelijk schriftelijk examen aan het einde van het laatste schooljaar.

Schoolexamen

Scholen stellen zelf eigen tussenexamens samen, maar het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap bepaalt welke vakken tijdens het examenjaar moeten worden onderwezen. Deze examendatum is niet nationaal bepaald, het staat scholen vrij om leerlingen in specifieke vakken te toetsen wanneer zij dat willen. Het schoolexamen bestaat meestal uit twee of meer toetsen per vakgebied, die mondeling, praktisch of schriftelijk kunnen zijn. Vakken die buiten het nationale examen vallen, kunnen dus vóór het laatste schooljaar worden afgerond.

Landelijk examen

Er is één landelijk schriftelijk examen per vak voor alle leerlingen die hetzelfde onderwijs volgen. Bij verplichte en bij facultatieve vakken zijn de examenvragen in het hele land dezelfde. Het landelijke examen vindt altijd plaats aan het einde van het laatste jaar en wordt opgesteld door het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen.

Leerlingen met een visuele beperking die naar een gewone school gaan, moeten zowel de tussentijdse schoolexamens als de landelijke examens afleggen. De school kan hun tussentijdse schoolexamens aanpassen voor blinde leerlingen. De landelijke wiskunde-examens worden aangepast door vier gekwalificeerde wiskundeleraren die veel ervaring hebben met het onderwijzen van wiskunde aan visueel gehandicapte leerlingen. Het doel is blinde leerlingen een billijk examen aan te bieden. In Tabel 6 worden enkele voorbeelden gegeven van aanpassingen en ondersteuning door slechtziende en blinde leerlingen. De aangepaste examens voor de landelijke examens worden besproken met de individuele leerlingen. De aangepaste examens van de voorgaande jaren zijn te vinden op www.eduvip.nl. Met betrekking tot aanpassingen voor blinde leerlingen, 'is alles mogelijk', mits de examens gelijk zijn aan de reguliere examens (zie Tabel 6).

Aanpassing of ondersteuning	Ziende leerling	Slechtziende leerling	Braille-afhankelijke leerling
Extra tijd?	Nee	Ja, 50%	Ja, 100%
Format van het examen	(meestal) op papier	(uitvergroot) op papier, Pdf-bestand, Word-(Edu-)bestand, Daisy	Word-(Edu-)bestand
Wiskundige notatie	'gewone' notatie	Gewone notatie of lineaire notatie (d.w.z. notatie voor blinde leerlingen)	lineaire notatie (toegankelijk voor blinde leerlingen)
Grafieken	afgebeeld op papier	afgebeeld op papier of het beeldscherm van de laptop	een beschrijving van een grafiek en/of een tactiele grafiek
Tekeningen	afgebeeld op papier	afgebeeld op papier of het beeldscherm van de laptop	een beschrijving van een grafiek en/of een tactiele tekening en/of een model van de tekening. De tactiele tekening is vaak een vereenvoudiging van de originele tekening

Aanpassing van de inhoud?	Nee	Nee	Indien nodig en gewenst: ja. Het doel is een billijk examen
Een supervisor voor hulp bij het lezen van grafieken, tekeningen en tabellen	Nee	Ja	Ja

Tabel 6 Voorbeelden van aangepaste examens voor visueel gehandicapte leerlingen

3.6.2 Examens van het bijzonder middelbaar onderwijs

Leerlingen die naar een school voor visueel gehandicapte leerlingen gaan, moeten dezelfde (aangepaste) landelijke examens afleggen. In plaats van het schoolexamen te maken, doen ze mondeling examens. Deze examens worden afgenomen door een onafhankelijke commissie.

(In Sectie 3.8.2 vindt u een aangepaste taak van het VMBO-GL en TL examen, 2017)

3.6.3 Onderzoek in wiskunde B

Minder dan 10% van de blinde leerlingen heeft de laatste 10 jaar eindexamen gedaan in wiskunde B [38]. Figuur 4 toont aan dat ongeveer 25% van de ziende leerlingen op Havoniveau en ongeveer 50% van de ziende leerlingen op VWO-niveau eindexamen hebben gedaan in wiskunde B.

3.7 Discussie en commentaar

In het kader van dit project hebben 36 wiskundeleraren van slechtziende leerlingen, 29 uit Nederland en 7 uit België, deelgenomen aan dit onderzoek (in 2018). Acht wiskundeleraren van blinde leerlingen, zeven uit Nederland en een uit België, hebben bijgedragen aan dit onderzoek. Ze hebben een vragenlijst ingevuld (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** t/m **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

Alle blinde leerlingen, zowel in België als in Nederland, maken gebruik van een laptop met een brailleleesregel. 57% van de blinde leerlingen uit Nederland en één blinde leerling uit België maakten gebruik van een brailleleesregel en een spraaksynthesizer wanneer ze wiskunde leerden. Geen enkele blinde leerling maakte gebruik van een touchscreen.

52% van de slechtzienden uit Nederland maakt gebruik van een laptop en 29% uit België. Maar één visueel gehandicapte leerling (uit Nederland) maakte gebruik van een

spraaksynthesizer. In Nederland maakten vier visueel gehandicapte leerlingen (14%) gebruik van een touchscreen, en in België maakte slechts één leerling gebruik van een aanraakscherm.

Een probleem is dat blinde leerlingen niet (goed genoeg) hebben geleerd hoe ze braille moeten gebruiken in combinatie met een spraaksynthesizer bij het maken van wiskundeopgaven. Ze zouden bijvoorbeeld moeten leren hoe ze informatie kunnen filteren wanneer ze vergelijkingen en uitdrukkingen lezen op een brailleleesregel. Ze moeten leren hoe ze een algemeen overzicht van de complete vergelijking of uitdrukkingen kunnen krijgen met behulp van een spraaksynthesizer en/of een braillescherm. Ze hebben ook meer training nodig in het lezen en schrijven van lineaire wiskundige notatie. Dit is ook belangrijk voor visueel gehandicapte leerlingen die deze notatie gebruiken.

Bovendien is het van groot belang dat leerlingen eigen producties kunnen maken wanneer ze wiskundige uitdrukkingen en vergelijkingen oplossen (zie bijvoorbeeld Afbeelding 7). Op dit moment zijn er weinig mogelijkheden voor blinde leerlingen om aan eigen producties te werken. In het EuroMath project zijn we op zoek naar een oplossing voor dit probleem.

Daarnaast moeten blinde leerlingen hoorbare en tactiele grafieken leren lezen en maken.

Ook willen we de aanbevelingen implementeren uit de ideeën van Visio over software:

- software moet platformonafhankelijk zijn, BYOD, IOS, Windows en Android bijvoorbeeld
- software en digitale inhoud, inclusief educatieve websites, voor 100% toegankelijk zijn
- de softwaretaal onafhankelijk van de taal van het besturingssysteem kan worden gewijzigd (onafhankelijke taalsturing).
- leerlingen altijd hun eigen vergrotingssoftware en software voor spraaksynthesizers kunnen gebruiken
- (indien mogelijk) gratis software wordt gebruikt.

3.8 Aanvullende informatie

3.8.1 Bijlage A

VWO wiskunde A (bron: http://www.boswell-beta.nl/vwo/math-a)
Onderwerpen: <ul style="list-style-type: none">• kansrekenen• statistiek in de binomiale verdeling• statistiek in de hypergeometrische verdeling• statistiek in de normaalverdeling: gemiddelde, standaarddeviatie, z-score, hypothesestelling, significantie, hypothesetesten (z-test)• goniometrische functies: sinus- en cosinusfuncties• goniometrische gelijkheden en ongelijkheden: exacte oplossingen• rekenkundige en geometrische sequenties en reeksen• somtotalen binnen reeksen

- exponentiële en logaritmische functies: gelijkheid en ongelijkheden, omzetting van exponentieel naar logaritmisch, vice versa
- Differentiaalrekening: afgeleiden van vermogensfuncties
- productregel, quotiëntregel en kettingregel
- extremen en raaklijnen, snelheid

benodigd: grafische rekenmachine, geodriehoek

Tabel 7 De inhoud van het Nederlandse VWO-examen wiskunde A

VWO wiskunde B

(Bron: <http://www.boswell-beta.nl/examen/vwo/mathematics-b>)

Onderwerpen:

- Afgeleiden: vermogensfuncties, exponentiële functies, logaritmische functies, goniometrische functies, productregel, quotiëntregel, kettingregel, extremen en buigpunten
- Integratie: vermogensfuncties, exponentiële functies, logaritmische functies, goniometrische functies, gebied tussen functies, volume van revolutie rond X-as of Y-as, massamiddelpunt, booglengte.
- goniometrie: som en verschil van formules, Simpson-formules, goniometrische functies, harmonische functies, figuren van Lissajous (parametrische krommen)

Bewijzen in de meetkunde:

- Bewijzen van congruentie en gelijkheid van driehoeken
- Middelloodlijn en buitenste cirkel, stelling van middelloodlijnen
- Bissectrice en binnenste cirkel, stelling bissectrices
- Hoogtelijn, zwaartelijn, stelling van hoogtelijnen, stelling van zwaartelijnen
- Vierkanten, rechthoeken, stelling van vierhoeken
- Middelpuntshoek, omtrekshoek, stelling van omtrekshoek
- Stelling van Thales, stelling constante hoek, stelling van koorden en raaklijnen
- Omgekeerde stelling van Thales, omgekeerde stelling van de constante hoek
- Bewijs uit het ongerijmde

Benodigd: rekenmachine, geodriehoek, kompas

Tabel 8 De inhoud van het Nederlandse VWO-examen wiskunde B

VWO wiskunde C

(<http://www.boswell-beta.nl/examen/vwo/mathematics-c>)

Onderwerpen:

- Functies en grafieken
- Lineaire en kwadratische functies
- exponentiële en logaritmische functies: gelijkheid en ongelijkheden, omzetting van exponentieel naar logaritmisch, vice versa
- Rekenkundige en geometrische sequenties en reeksen, somtotalen binnen reeksen

- Beschrijvende statistiek: samenvatting van gegevens
- Systematische telling: faculteit, permutatie, combinatie
- kansrekenen
- Willekeurige variabelen, verwachting, standaarddeviatie
- Binomiale verdeling
- Hypergeometrische verdeling
- Normaalverdeling: gemiddelde, standaarddeviatie, wortel-n-wet
- Normale benadering van de binomiale verdeling

Benodigd: grafische rekenmachine, geodriehoek

Tabel 9 De inhoud van het Nederlandse VWO-examen wiskunde C

3.8.2 Bijlage B

Vraag 3 van examen VMBO-GL en TL 2017

Dit examen is aangepast voor blinde leerlingen. We tonen hier alleen de vragen over 'Eindlengte'. Het examen is verstrekt in Word-format. De tekeningen zijn aangeboden met verhoogde lijnen.

Vraag 3 is aangepast. De oorspronkelijke vraag was:

Neem voor lengte vader 180 cm. Teken in het assenstelsel op de uitwerkbijlage de grafiek die bij de

formule hoort. Je mag de tabel gebruiken. Maak zelf een juiste verdeling bij de verticale as.

Examen VMBO-GL en TL 2017 voor blinde leerlingen

Eindlengte

Als je weet wat de lengte van de vader en de lengte van de moeder van een meisje is, kan je de verwachte eindlengte van dit meisje berekenen met de formule

$$\text{Eindlengte} = (\text{lengte vader} + \text{lengte moeder} - 13) + 4,5$$

Hierin zijn eindlengte, lengte vader en lengte moeder in centimeters.

Vraag 1: 2 punten

De lengte van de vader van Nicolette is 185 cm en de lengte van haar moeder is 170 cm.

Bereken hoeveel cm de verwachte eindlengte van Nicolette is. Schrijf je berekening op.

Vraag 2: 3 punten

Carla groeit niet meer. Haar eindlengte is 190 cm. Haar vader is 2 meter lang.

Bereken hoeveel cm de lengte van de moeder van Carla volgens de formule moet zijn. Schrijf je berekening op.

De gemiddelde lengte van een Nederlandse man is 180 cm.

Vraag 3a: 2 punten

Neem voor lengte vader 180 cm. Neem de volgende tabel over en vul deze in.

Begin tabel

kolom 1: lengte moeder (cm)

kolom 2: eindlengte (cm)

140; ...

150; ...

160; ...

170; ...

180; ...

190; ...

200; ...

Einde tabel

Vraag 3b: 2 punten

Zie tekening I.

In het coördinatensysteem van tekening 1 kan een grafiek getekend worden die bij de formule hoort.

Geef de waarde aan op punt A na de zaagtand (??) en specificeer de stapgrootte op de verticale as zodat de grafiek correct kan worden weergegeven.

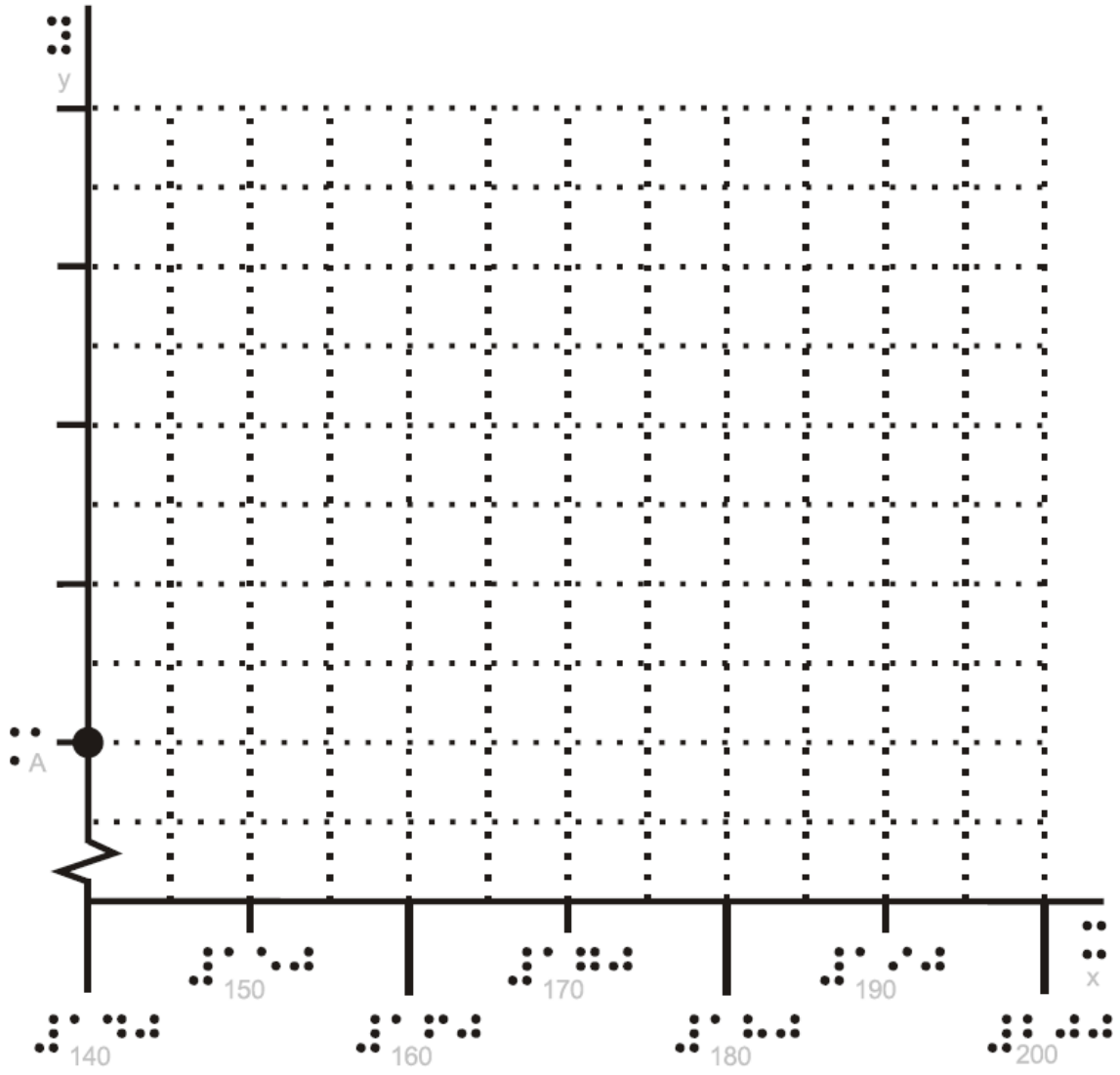
Vraag 4: 2 punten

In de formule voor de berekening van de eindlengte, vul 180 cm in voor de lengte van de vader. Dan kun je de formule ook zo schrijven:

Eindlengte = $0,5 * \text{lengte moeder} + \dots$

Vul de bovenstaande formule in door het juiste getal in te vullen op de puntjes

Tekening 1: Voor deze opdracht moet de onderstaande tekening tactiel gemaakt worden zodat de leerling die kan voelen. (Met verhoogde lijnen)



4 Wiskunde onderwijzen aan blinde en slechtziende leerlingen: de Poolse situatie

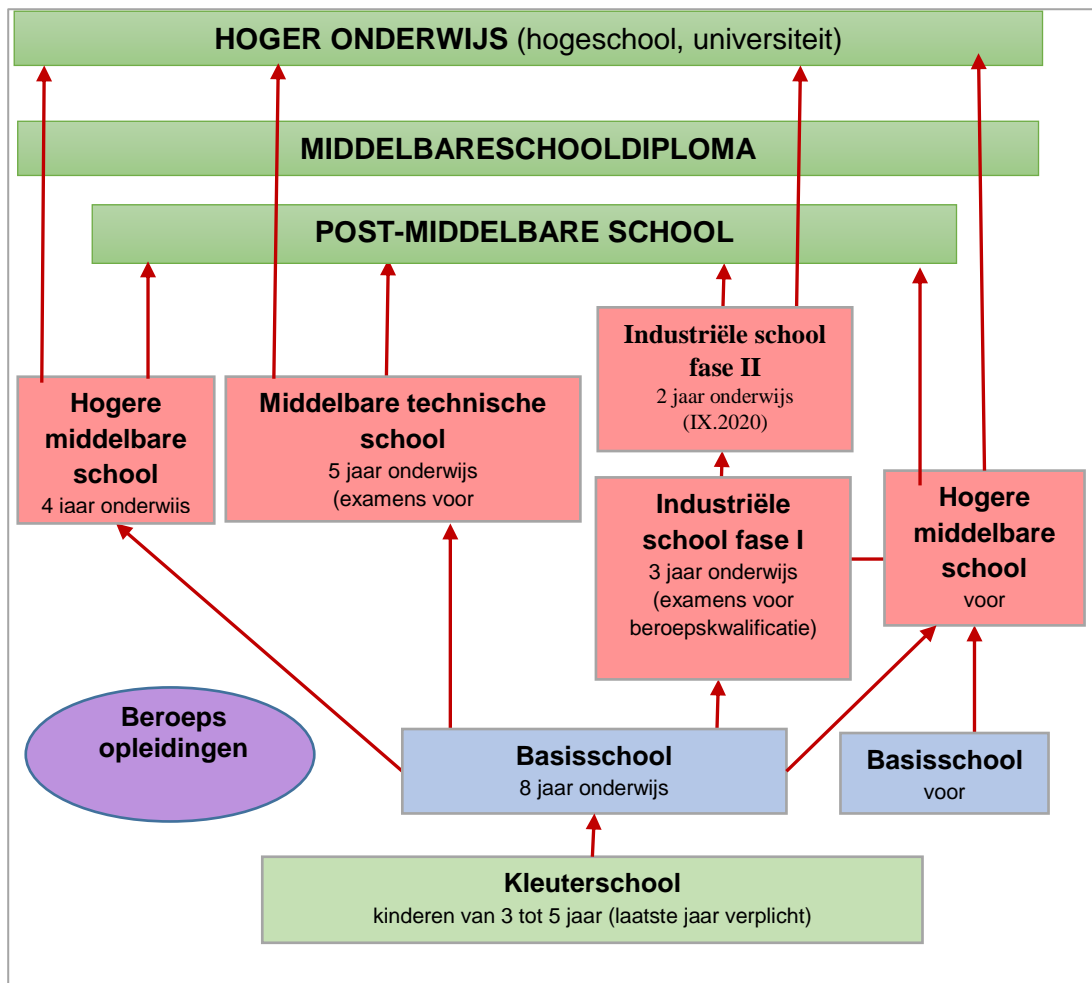
4.1 Inleiding

In dit deel van het rapport presenteren we de organisatie van het formele onderwijs in Polen, inclusief het onderwijs aan leerlingen met een visuele handicap. We analyseren statistische gegevens over het onderwijs aan leerlingen met een visuele handicap uit de schooljaren 2016/2017 en 2012/2013. We vergelijken deze en presenteren de waargenomen veranderingen. We presenteren onderzoek in Polen naar het gebruik van ICT op Poolse scholen en onderzoek gericht op het gebruik van ICT in het wiskundeonderwijs voor blinden en slechtzienden, uitgevoerd door het Instituut voor Wiskundige Machines (IMM) in 2014-2017, en voortgezet in 2018 door NASK PIB¹. Op basis van de onderzoeksresultaten beschrijven we de stand van de informatisering inclusief die van het wiskundeonderwijs, en de behoeften, verwachtingen en voorkeuren van leerkrachten en leerlingen met een visuele beperking met betrekking tot ICT-ondersteuning. We presenteren ICT die het meest wordt gebruikt in het inclusieve wiskundeonderwijs in Polen. We analyseren de gegevens van de Centrale Examencommissie (CEB) van de eindexamens middelbare school betreffende het aantal leerlingen met een visuele beperking fat eindexamen heeft gedaan. We analyseren ook de eindexamenvragen qua toegankelijkheid en laten (waar nodig) zien hoe eventuele tekortkomingen kunnen worden verholpen om te zorgen dat de vraag kan worden beantwoord door personen uit deze bevolkingsgroep.

4.2 Het formele onderwijsstelsel in Polen

Het schoolsysteem in Polen wordt momenteel hervormd. De nieuwe organisatie van het onderwijs is ingevoerd in september 2017 en dit zal geleidelijk tot 2020 worden doorgevoerd, zoals blijkt uit Figuur 9. Momenteel duurt de basisschool acht jaar. Na de basisschool kunnen jongeren kiezen voor een algemene middelbare school van vier jaar, een technische school van vijf jaar of een industriële school van twee fasen. Er zijn ook post-middelbare scholen die na het behalen van het van het middelbareschooldiploma of de technische school kunnen worden bezocht, zonder de verplichting een 'highschool'-diploma te hebben.

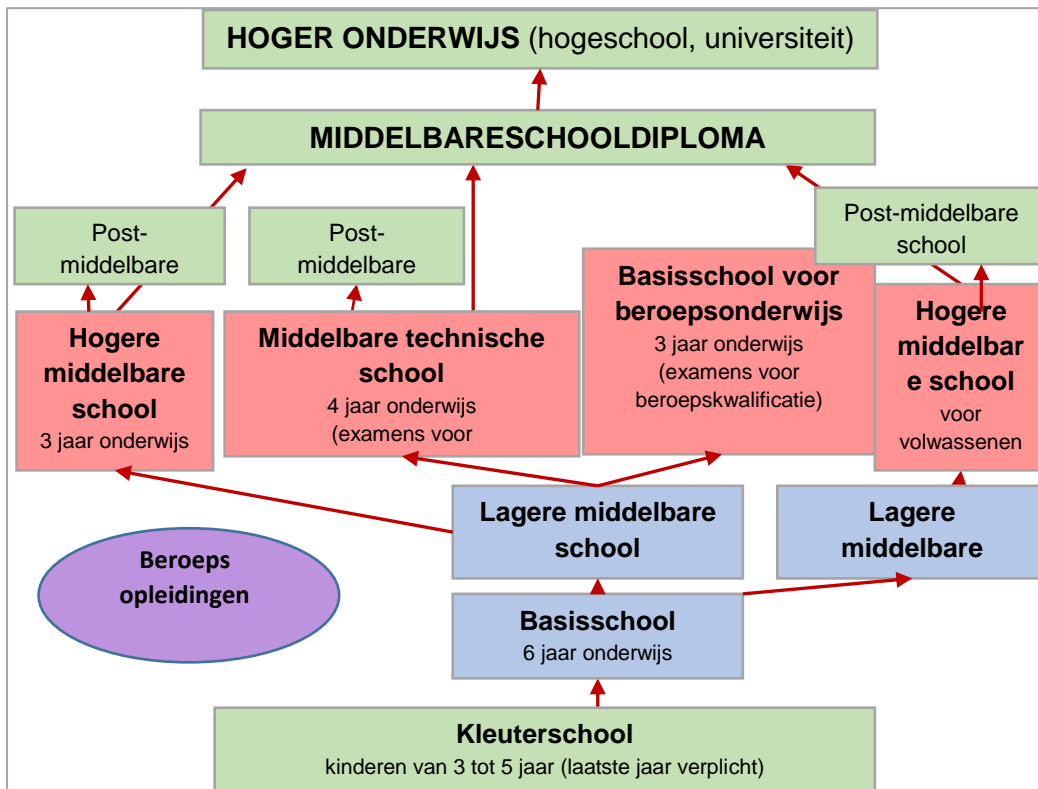
¹ Op 2 februari 2018 is het Instituut voor Wiskundige Machines (IMM) in Warschau opgenomen in het NASK Research and Academic Computer Network. Het door IMM gelanceerde EuroMath (Erasmus +) project wordt voortgezet bij het NASK PIB.



Figuur 9 Schema van het onderwijsstelsel in Polen na de start van de onderwijshervorming in 2017.

Bron: eigen werk gebaseerd op de wet van 14 december 2016 - Onderwijsrecht (Staatsblad van 2017, punt 59)

Afhankelijk van de beslissing van de ouders gaan kinderen vanaf 6 of 7 jaar naar de basisschool. Het vorige onderwijssysteem, dat is weergegeven in Figuur 10, bestond uit zes jaar lagere school, drie jaar onderbouw middelbare school, drie jaar bovenbouw middelbare school, waaronder middelbare school met profielen, vier jaar technische school en een drie jaar vakschool. Er waren ook post-middelbare scholen.



Figuur 10 Schema van het onderwijstelsel in Polen vóór de hervorming in 2017

Bron: eigen werk gebaseerd op de wet van 14 december 2016 - Onderwijsrecht (Staatsblad van 2017, punt 59)

In het kader van de onderwijshervorming zijn de middelbare scholen voor lager en beroepsonderwijs afgeschaft en vervangen door basisscholen van acht jaar en industriële scholen in twee fasen, die moeten samenwerken met bedrijven in het onderwijs van jongeren. Technische en middelbare scholen zijn met een jaar verlengd (respectievelijk naar 5 en 4 jaar). Sinds 2016 mogen ouders zelf beslissen of hun kinderen op 6 of 7 jaar naar de basisschool gaan.

Het volgende hoofdstuk geeft een statistisch beeld van het Poolse schoolonderwijs met betrekking tot kinderen en jongeren met een visuele handicap.

4.3 Blinde en slechthziende leerlingen in het Poolse onderwijssysteem

4.3.1 Landelijke statistische gegevens

In Polen wordt het idee van inclusief onderwijs op alle niveaus ten uitvoer gebracht. Inclusief onderwijs, volgens het VN-Verdrag voor de rechten van personen met een handicap, betekent een situatie waarin een gewone school bereid is om de onderwijsbehoeften van elke leerling op te vangen en daaraan te voldoen. De organisatie van een dergelijk onderwijstelsel gaat niet uit van de noodzaak om een speciale infrastructuur te creëren, maar om de bestaande

infrastructuur aan te passen aan de behoeften van leerlingen met andere behoeften. In verband met de ratificatie van bovengenoemd verdrag door Polen in 2012, zijn op dit moment de uitgangspunten van het idee van inclusief onderwijs bepalend voor de vorm van de onderwijshervormingen. Hoewel je nog steeds moeilijk kunt spreken van volledige inclusiviteit binnen het Poolse schoolsysteem, is veel ten goede veranderd.

In Polen kunnen leerlingen met een visuele handicap studeren en leren op gewone scholen, op gewone scholen met geïntegreerde klassen, op geïntegreerde scholen en bij speciale onderwijscentra voor blinde en slechtziende kinderen.

Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CSO) stelt in zijn verslag [39] over 2017 dat het aantal blinde en slechtziende leerlingen met een visuele handicap in het schooljaar 2016/2017, 7506 bedroeg, waarvan 251 blinde leerlingen en 7255 slechtziende leerlingen (Tabel 10). Op reguliere scholen, waaronder geïntegreerde scholen en scholen met geïntegreerde klassen, waren er 75 blinde leerlingen en 6539 slechtziende leerlingen. Speciale centra werden bezocht door 176 blinde leerlingen en 716 slechtziende leerlingen. Van het percentage (Tabel 11) leerlingen met een visuele handicap die gebruikmaken van het reguliere onderwijs, is slechts 3% blind. De meerderheid, 97%, zijn slechtziende leerlingen met die gebruikmaken van het openbaar onderwijs (inclusief geïntegreerde scholen en -klassen). Op de speciale scholen zijn de verhoudingen tussen blinde en slechtziende leerlingen minder extreem en bedragen deze respectievelijk 20% en 80%, wat bevestigt dat de Poolse openbare scholen niet voorbereid zijn op het onderwijzen van blinde leerlingen, terwijl de speciale centra voor blinde en slechtziende kinderen strak georganiseerd zijn en goed functioneren. In Polen zijn er elf door de staat geleide speciale scholen en onderwijscentra voor blinde en slechtziende kinderen (SOSW's - Specjalne Ośrodki Szkolno-Wychowawcze dla Dzieci Niewidomych i Słabowidomych i Słabowidzących), waaronder één centrum (in Warschau) dat alleen bedoeld is voor slechtziende kinderen. In het centrum in Radom wordt geen wiskunde gegeven omdat daar blinde en slechtziende leerlingen met meerdere handicaps les krijgen, waaronder intellectuele handicaps. De SOSW's zijn internaten waar leerlingen wonen die de mogelijkheid hebben om in het weekend en in de vakantie naar huis te gaan. De SOSW's (behalve het centrum in Radom) verzorgen onderwijs voor kinderen en jongeren op alle niveaus. In sommige SOSW's zijn er tweejarige post-middelbare scholen die geleidelijk aan dicht gaan als gevolg van de onderwijshervorming. In het schooljaar 2016/2017 werden SOSW's bezocht door 187 blinde leerlingen en 372 slechtziende leerlingen. Het grotere aantal blinde leerlingen in de SOSW's in Tabel 10 verhouding met het aantal blinde leerlingen op speciale scholen in Tabel 10, is het gevolg van het niet opnemen van de post-middelbare scholen in Tabel 10 (de gegevens voor scholen op dit niveau zijn niet gescheiden in de genoemde CSO-rapporten). Het is vermeldenswaard dat volgens Tabel 10, het aantal leerlingen met een visuele handicap (zowel blinden als slechtzienden) op scholen met een hoger opleidingsniveau dan het basisniveau afneemt, zowel in het reguliere onderwijs als op speciale scholen.

		Schooljaar 2016/2017		Schooljaar 2012/2013	
Soort school		blind	slechtziend	blind	slechtziend
1	Basisschool voor beroepsonderwijs	1	121		

2	Basisscholen	31	3697	42	2455
3	Bijzondere basisscholen	62	207	79	188
4	Middelbare scholen onderbouw	19	1.694	27	1.450
5	Bijzondere middelbare scholen onderbouw	37	165	52	211
6	Basisscholen voor beroepsonderwijs	1	121	1	93
7	Bijzondere basisscholen voor beroepsonderwijs	16	75	24	124
8	Middelbare scholen	18	528	20	402
9	Bijzondere middelbare scholen	29	114	31	169
10	Technische scholen	6	499	Gebrek aan gegevens	235
11	Bijzondere technische scholen	32	155	47	185
Totaal alle scholen		251	7.255	323	5.512
Totaal openbare scholen		75	6.539	90	4.635
Totaal bijzondere scholen		176	716	233	877
Totaal aantal leerlingen met een visuele beperking op alle scholen			7.506		5.835

Tabel 10. Het aantal blinde en slechtziende leerlingen op openbare en bijzondere scholen in Polen

Bron: eigen werk op basis van CSO-onderwijs- en opvoedingsrapporten [39] [40]

Schooljaar 2016/2017		Schooljaar 2012/2013	
% leerlingen		% leerlingen	
blinde leerlingen versus alle leerlingen met een visuele beperking	slechtziende leerlingen versus alle leerlingen met een visuele beperking	blinde leerlingen versus alle leerlingen met een visuele beperking	slechtziende leerlingen versus alle leerlingen met een visuele beperking

Op openbare scholen	3%	97%	2%	98%
Op bijzondere scholen	20%	80%	21%	79%

Tabel 11 Deelname van Poolse scholen voor openbaar en speciaal onderwijs in het onderwijs aan leerlingen met een visuele handicap in de schooljaren 2012/2013 en 2016/2017

Bron: eigen werk

Soort school	Schooljaar 2016/2017		Schooljaar 2012/2013	
	blind	slechtziend	blind	slechtziend
SOSW's (inclusief post-middelbare scholen)	187	372	209	517

Tabel 12 Het aantal blinde en slechtziende leerlingen in Poolse SOSW's in de schooljaren 2012/2013 en 2016/2017

Bron: eigen werk op basis van CSO-onderwijs- en opvoedingsrapporten [39] [40])

Naast de gegevens voor het schooljaar 2016/2017 bevatten de tabellen 10, 11 en 12 ter vergelijking de corresponderende gegevens uit het CSO-verslag over het schooljaar 2012/2013. Uit de gegevens van Tabel 10 blijkt dat in de 4 jaar tussen 2012 tot 2016, het aantal leerlingen met een visuele beperking is gestegen van 5835 naar 7506. Dit was het gevolg van een toename van het aantal slechtziende leerlingen, terwijl het aantal blinde leerlingen juist was gedaald van 323 in 2012 naar 251 in 2016. Deze kwantitatieve verschijnselen deden zich voor op het moment dat de Poolse bevolking van 38,06 miljoen in 2012 is afgenomen tot 37,95 miljoen in 2016. Een analyse van de oorzaken van de toename van het aantal visueel gehandicapte leerlingen in Polen in de afgelopen 4 jaar, op het moment dat de totale bevolking van Polen daalde, valt buiten het onderwerp van deze publicatie. Een positieve maar niet erg sterke trend die uit de onderzoeksgegevens naar voren komt, zie Tabel 10, is de afname van het aantal blinde en slechtziende leerlingen dat naar een bijzondere school gaat. Deze trend is duidelijker in het geval van slechtziende leerlingen - van 16% slechtziende leerlingen die naar speciale scholen gingen naar 11%, een daling van 5% dus. In het geval van blinde leerlingen is de deze afname 2%: van 72% naar 70%. Aangenomen mag worden dat de reden voor deze positieve ontwikkeling van de 'opmars' naar inclusief onderwijs in Polen, de steeds betere voorbereiding is van openbare scholen, het onderwijzend personeel en technische apparatuur, inclusief ICT, op onderwijs aan leerlingen met een visuele handicap. Tabel 12 toont meer bewijs van de ontwikkeling van inclusief onderwijs in Polen. In de periode van vier jaar die we hier bespreken, is het aantal leerlingen met een visuele handicap op speciale scholen met 20% gedaald, en het aantal leerlingen dat naar een SOSW gaat, is met maar liefst 23% gedaald. De TRAKT Foundation of Polish Blind and Low Vision People (www.trakt.org.pl) is een van de organisatie die deze trends bestuderen. In 2013-2014 hebben ze kwalitatief onderzoek gedaan naar ouders van kinderen met een visuele beperking en hun mening over een kind naar een speciale school sturen. Ouders van blinde of

slechtziende kinderen zonder meervoudige handicaps sturen een kind liever naar een openbare school zodat ze contact houden met het kind en het kind in contact blijft met broers en zussen. De rol van broers en zussen die naar dezelfde school gaan, is ook nuttig. Niet alleen het feit dat reguliere scholen beter voorbereid zijn op inclusief onderwijs draagt bij aan deze sociale trend. Ook de vaardigheden van leerlingen op het gebied van ICT, zijn beter en er zijn veel ICT-ondersteunende hulpmiddelen waar scholen en leerlingen baat bij hebben, zoals we verderop in het onderzoek presenteren. Blinde leerlingen worden beter in leren en dankzij de ondersteuning met ICT, worden ze steeds zelfstandiger.

4.3.2 De behoefte aan en het gebruik van ondersteunende ICT-hulpmiddelen

In relatie tot andere vakken wordt in Polen het wiskundeonderwijs het minst ondersteund door ICT, zowel op gewone als op speciale scholen. Het eerste onderzoek is door het IMM in 2014 gestart [41]. Het betrof de behoeften op het gebied van ICT ter ondersteuning van wiskundelessen. Dit waren voorbereidende, oriënterende onderzoeken over de mate en aard van de behoeften benodigd om een platform te ontwikkelen met ICT-hulpmiddelen ter ondersteuning van zowel wiskundeleraren als leerlingen met een visuele handicap. Het platform PlatMat is opgericht in 2015. Verder onderzoek door het IMM in een proefopstelling met docenten en leerlingen van het PlatMat-model (testen, initiële training) in 2015, betrof de beoordeling door docenten van het nut van de toepassingen en de functies daarvan in PlatMat [42]. Het daaropvolgende diepgaande onderzoek door het IMM aan de hand van meetbare criteria, met betrekking tot de meetbare effecten van het gebruik van ondersteunende hulpmiddelen bij het werk van leerkrachten en leerlingen, is uitgevoerd in 2017 tijdens de proefopstelling met PlatMat-hulpmiddelen tijdens praktische onderwijsactiviteiten op drie scholen. Het onderzoek is beschreven in een intern IMM-rapport [43]. Omdat er een paar jaar is verstreken sinds het eerste IMM-onderzoek in 2014, is in 2017 en begin 2018 onderzoek uitgevoerd door het IMM dat is voortgezet door NASK PIB, met als doel de huidige situatie te onderzoeken wat betreft ICT-gebruik door docenten en leerlingen en de huidige ICT-behoeften.

De gepubliceerde onderzoeksresultaten door andere instanties hebben betrekking op toegepaste ICT in het algemeen onderwijs van leerlingen met een visuele handicap, en was niet gericht op wiskundig onderwijs [37], [38], [39]. Onderzoek naar de mate van digitalisering van scholen in Polen is uitgevoerd door de Hoge Rekenkamer [40].

Onderzoek naar ICT toegepast in inclusief wiskundeonderwijs

Rond de jaarwisseling van 2017/2018 is er in het kader van het EuroMath-project² gedurende enkele maanden kwalitatief onderzoek uitgevoerd over het gebruik van ICT in het wiskundeonderwijs aan leerlingen met een visuele beperking. Het doel van de studie was kennis te verwerven over de mate waarin de ICT-ondersteuning tegemoetkomt aan de

² Het EuroMath Erasmus+ project met als titel 'EuroMath - het vergroten van de ondersteuning van docenten en visueel gehandicapte leerlingen met innovatieve ICT in inclusief wiskundeonderwijs', wordt in de periode 2017-2020 uitgevoerd door projectcoördinator NASK PIB.

behoefden van leraren en visueel gehandicapte leerlingen in het onderwijzen/leren van wiskunde op Poolse scholen.

De uitnodiging voor het onderzoek is samen met de vragenlijsten per post en per e-mail naar alle SOSW's en diverse scholen met geïntegreerde klassen gestuurd, gebaseerd op de presentielijst van de technologische bijeenkomsten van PlatMat. De uitvoerders van het EuroMath-project hebben persoonlijk vragenlijsten afgeleverd bij openbare scholen. Het criterium voor de keuze van de school was de ligging ten opzichte van de woonplaats van de uitvoerder of de samenwerking met de school in het verleden. 29 wiskundeleraren van 15 scholen uit heel Polen hebben deelgenomen aan het onderzoek. Onder deze 15 scholen waren 6 gewone scholen zonder geïntegreerde klassen, 3 scholen met geïntegreerde klassen en 6 speciale scholen en onderwijscentra (SOSW). De verdeling van de respondenten Onder bepaalde soorten scholen wordt gepresenteerd in Tabel 13.

Onderwerp	Soort school	Aantal scholen	Aantal respondenten
1.	Regulier	6	8
2.	Regulier met geïntegreerde klassen	3	7
3.	SOSW's	6	14
Totaal:		15	29

Tabel 13 Verdeling van het aantal respondenten op bepaalde soorten scholen

Bron: eigen werk

Voor het onderzoek zijn twee vragenlijsten opgesteld. Een daarvan ging over ICT-ondersteuning tijdens de wiskundeles en de tweede over het gebruik van interactieve schoolborden en monitoren tijdens de wiskundeles. De vragenlijst waarin het gebruik van ICT-ondersteuning werd geanalyseerd, omvatte zes vragen over het gebruik van ICT-ondersteuning:

- de netwerkinfrastructuur van en het internetgebruik door de school
- de ICT-apparatuur van de school
- computerapparatuur gebruikt door wiskundeleraren
- computerapparatuur gebruikt door blinden en slechtzienden
- ICT gebruikt door leerkrachten tijdens de wiskundeles.

Vragen, geselecteerde en open antwoorden, maar ook aanvullende open vragen voor meer detailinformatie waar we het meest geïnteresseerd in waren, stonden in vragenlijsten. Tabel 14 Samenvatting van de gegevens uit de enquête over ICT-toepassingen in het wiskundeonderwijs voor leerlingen met een visuele handicap, geeft de verzamelde antwoorden weer uit de ingevulde ICT-vragenlijsten. Tabel 15 Geeft de verzamelde antwoorden weer van de vragenlijsten ingevuld op whiteboards en monitoren.

Vragen en antwoordmogelijkheden	Aantal antwoorden	Verzamelde antwoorden op open vragen: welke soort ICT en waarvoor?
1. Wordt er tijdens de wiskundeles gebruikgemaakt van een computernetwerk en internet?		
Ja	25	
Nee	4	
2. Welke ICT-voorzieningen zijn er op school beschikbaar ter ondersteuning van het wiskundeonderwijs aan leerlingen met een visuele beperking:		
Apparatuur:		
laptops	17	
tablets	4	
smartphones	4	
interactieve tafels	16	
interactieve monitoren	4	
overige (graag specificeren)	1	<i>privé-laptops van leerlingen</i>
Software:		
voor het bewerken van wiskundige formules	9	<i>LibreOffice, Inkscape</i>
voor het bewerken van wiskundige grafieken	11	<i>LibreOffice, Inkscape</i>
Voor printen met reliëf	9	
overige toepassingen (graag specificeren)	7	<i>Duxbury voor het schrijven van wiskundige teksten (tekstvertaler braille)</i>
3. Tijdens de wiskundeles maken leerlingen met een visuele beperking gebruik van:		
laptops (waarvoor?)	10	<i>Om aantekeningen te maken, teksten te schrijven en opgaven te maken. Voor het opschrijven en opslaan van informatie, werkkaarten en opgaven tijdens de les. Om informatie te zoeken op internet, bijvoorbeeld door gebruik te maken e-lesboeken voor wiskunde. Schrijven, teksten lezen, opgaven maken. Ze zien de wiskundetaken en -opgaven sterk uitvergroot en maken ze. Om</i>

		<i>wiskundeopgaven te maken. 2x (om aantekeningen te maken en te lezen en proefwerken te maken).</i>
tablets (waarvoor?)	6	<i>Als rekenmachine. Ze maken gebruik van multimedialprogramma's, zoals Klik uczy..... (Klik leert.....). Handleidingen in een multimediale versie. 2x (de inhoud van taken uitvergroot lezen, lessen bekijken die op internet beschikbaar zijn)</i>
smartphones (waarvoor?)	3	<i>Berekeningen, informatie zoeken. Om foto's te maken van materiaal uit de les of om notities te maken van opmerkingen of de les van de leraar (alleen met toestemming van de leraar). Rekenmachinefunctie, foto's van het schoolbord nemen. 2x (berekeningen doen op de rekenmachine, na een foto te maken van de opgave in zwart-wit print, die uitvergrooten). 2x (de inhoud van opgaven uitvergroot lezen, lessen bekijken die op internet beschikbaar zijn)</i>
leerlingen met een visuele beperking maken geen gebruik van laptops/tablets/smartphones tijdens de les.	13	
4. Tijdens de wiskundeles maken ziende leerlingen gebruik van:		
laptops (waarvoor?)	87	<i>Notities, opgaven van de leraar. Om notities te maken en opslaan van informatie, werkkaarten en opgaven tijdens de les. Om informatie te zoeken op internet, ze maken bijvoorbeeld gebruik van e-lesboeken voor wiskunde. Om wiskundeopgaven te maken. Om grafieken tekenen.</i>
tablets (waarvoor?)	7	<i>Quizizz. Educatieve programma's van de website matzoo.pl. 2x (lessen doorzoeken die beschikbaar zijn op internet, gebruikmaken van de rekenmachine).</i>
smartphones (waarvoor?)	5	<i>Quizizz, rekenmachinefunctie. Om foto's te maken van materiaal uit de les of om notities te maken van opmerkingen of de les van de leraar (alleen met toestemming van de leraar). Naar andere antwoorden zoeken van opgaven en opdrachten. 2x (lessen</i>

		<i>doorzoeken die beschikbaar zijn op internet, gebruikmaken van de rekenmachine).</i>
Ziende leerlingen maken tijdens de les geen gebruik van laptops/tablets/smartphones.	14	
5. Tijdens de wiskundeles maken leerkrachten gebruik van:		
laptops (waarvoor?)	7	<i>Multimediale uitleg, voorbereiding van de les, notities, proefwerken. Om informatie te geven aan leerlingen in de vorm van een lespresentatie, om verschillende soorten simulaties van verschijnselen te demonstreren. Om leermiddelen te maken. 2x (voor interactief schoolbord), PREZI. Ter ondersteuning bij het onderwijsproces. Presentaties, films. Vooral bij meetkunde - constructie-opgaven. Voor multimediale presentaties. Om de inhoud van e-lesboeken weer te geven. 2x (aansluiting op een interactief schoolbord en dat gebruiken om voorbeelden te tonen).</i>
tablets (waarvoor?)	4	<i>Vorbereiden en uitvoeren van korte toetsen. Voor een presentatie maken ze gebruik van educatieve programma's. 2x (aansluiting op een interactief schoolbord en dat gebruiken om voorbeelden te tonen).</i>
smartphones (waarvoor?)	5	<i>Berekeningen, informatie zoeken. Snel zoeken naar gegevens op internet als de les om gegevens vraagt die niet voorzien waren. 2x (oefeningen met QR-codes maken)</i>
PC's (waarvoor?)	1	<i>Aansluiting op een interactieve tafel</i>
Docenten maken tijdens de les geen gebruik van laptops/tablets/smartphones.	8	
6. Wiskundeleraren maken gebruik van ICT:		
om werkkaarten voor leerlingen te maken met oefeningen (welke ICT-hulpmiddelen?)	26	<i>Office (Word, Excel), internet. Diverse software. 3x (Office 365, GeoGebra), Paint, PlatMat Teacher, diverse software van superkid.pl. 3x laptop. Tablet Tekstverwerkingsprogramma 2x</i>

		<i>LibreOffice. 2x (thatquiz.org, GeoGebra, animaties van het Scholaris-platform - Ambulans, Play with a Mirror).</i>
om wiskundige grafieken te maken (welke ICT-instrumenten?)	21	<i>Word, Corel, 4x GeoGebra. Diverse software. Paint. MS Office. 2x laptop. Grafische editor. 2 x LibreOffice Spreadsheet. 2 x (GeoGebra, Paint, grafische editor in MS Word, Excel, Gimp)</i>
om werkkaarten en andere wiskundige inhoud naar leerlingen te versturen (welke ICT-tool?)	11	<i>Gmail, USB-stick, e-mail, internet, 2x e-mail. 3x Office 365 Laptop. 2x (ONE DRIVE, cloud).</i>
om wiskundeproefwerken te maken (welk ICT-instrument?)	18	<i>Kant-en-klare toetsen, MS Office (Word, Excel), laptop, diverse software, Paint, PlatMat Teacher, website Klasowki.pl. Printer(?). 2x Laptop. Tekstverwerkingsprogramma LibreOffice. 2x (Thatquiz.org, Moodle).</i>
Om rekenoefeningen voor te bereiden met behulp van de schriftelijke methode (welke ICT-tool?)	14	<i>Kant-en-klare opgaven. SuperKid.pl spreadsheet generator. Laptop. Tekst- en grafische editor, MS Excel. 2x LibreOffice. 2x (spreadsheets op de website superkid.pl)</i>
in andere situaties (beschrijf situaties en gebruikte ICT)	3	<i>Om tijdens de les gebruikte oefeningen op te schrijven en uit te printen, toetsen in diverse vormen, extra huiswerk - Duxbury, wiskundige tekeningen - eenvoudige zijn kant-en-klare beschikbaar in Word, Corel. Presentaties maken. Leren/leren programmeren/coderen. Wiskundige dictaten.</i>

Tabel 14 Samenvatting van de gegevens uit de enquête over ICT-toepassingen in het wiskundeonderwijs voor leerlingen met een visuele handicap

Bron: eigen werk

Vragen en antwoordmogelijkheden	Aantal antwoorden	Verzamelde antwoorden op open vragen: welke soort ICT en waarvoor?
---------------------------------	-------------------	--

1. Worden deze hulpmiddelen gebruikt tijdens de wiskundeles:		
Interactief schoolbord	15	<i>2x (e-instructie), Esprit DT, 2x SMART, Qomo, Hitachi</i>
Interactieve monitor	2	
Interactieve schoolborden en monitoren worden niet gebruikt tijdens de wiskundeles	11	
2. Worden deze hulpmiddelen door leerlingen gebruikt tijdens de wiskundeles:		
laptops	10	<i>1x (eigendom leerling)</i>
tablets	5	
smartphones	7	
laptops, tablets en smartphones worden niet gebruikt door leerlingen tijdens de wiskundeles	12	<i>Alleen PC (aangesloten op interactief schoolbord)</i>
3. Waarvoor wordt een interactief schoolbord of monitor gebruikt in het wiskundeonderwijs aan leerlingen met een visuele beperking?		
voor het weergeven van de inhoud van oefeningen in uitvergroete vorm	19	
om de inhoud van de oefeningen weer te geven met meer contrast	14	
om proefwerken te maken:		
met aanraakgebaren	1	
gebruik van QWERTY-toetsenbord	1	
met aanraakgebaren en QWERTY-toetsenbord	3	
gebruik van braille-toetsenbord	0	
voor groepswork bij het maken van oefeningen:		
slechtziende leerlingen	14	
blinde leerlingen	1	
voor multimediaal afspelen	11	
voor andere toepassingen	2	<i>om interactief onderwijsmateriaal te creëren, zoeken en verzamelen interactief coderen.</i>

4. Geef de nuttige functies aan van een interactief schoolbord (of monitor), ervan uitgaande dat de leerkracht en de leerlingen een computer hebben:		
op het schoolbord weergeven van door de leerkracht op een computer gecreëerde inhoud	22	
op het schoolbord weergeven van door de leerling op een computer gecreëerde inhoud	19	
inhoud van een interactief schoolbord verzenden naar de computer van leerlingen om door hen gelezen te worden	17	
weergegeven toetsen:		
op interactief schoolbord	17	
verstuurd naar de computer van leerlingen	13	
rangschikking van de uitkomsten weergegeven op het schoolbord	10	
het antwoord op een opgave van een leerling gekozen door de leraar om op het schoolbord te tonen	15	

Tabel 15 Een samenvatting van de onderzoeksgegevens over het gebruik van interactieve schoolborden en monitoren in wiskundeonderwijs aan leerlingen met een visuele beperking

Bron: eigen werk

Netwerkinfrastructuur en informatisering van scholen

De meeste scholen hebben een netwerkinfrastructuur en internet waarvan ze gebruikmaken in de wiskundeles. De belangrijkste computerapparatuur die in het bezit is van scholen en gebruikt wordt voor de wiskundeles, zijn laptops (17/29) en interactieve schoolborden (16/29). Interactieve monitoren zijn moderner maar ook duurder en worden minder vaak gebruikt (4/29). Weinig respondenten noemden LibreOffice en Inkscape als software die op school beschikbaar is. Beide programma's worden gebruikt om formules en wiskundige grafieken te bewerken. Opensourcesoftware LibreOffice bestaat uit diverse toepassingen, waaronder een MATH-formule-editor. Met de opensourcesoftware Inkscape kunnen vectorafbeeldingen in SVG-formaat worden gecreëerd die naar veel andere formats kunnen worden geconverteerd. Het is zeer geschikt voor het maken van wiskundige afbeeldingen en het plaatsen van symbolen (bijv. het hoeksymbool) en heeft ook hulpmiddelen in de Poolse taal bij het lesgeven. De vertaalssoftware Duxbury Braille (<https://www.duxburysystems.com/>), die met diverse printers en veel braille-notaties kan worden gebruikt, en die Word-documenten vertaalt in brailleschrift, is ook genoemd als schoolmateriaal.

Hard- en software gebruikt in de wiskundeles door leerlingen met een visuele beperking

Het meestvoorkomende antwoord (13/29) was dat er geen computerapparatuur zoals laptops, tablets of smartphones wordt gebruikt in de wiskundeles. Meer dan een derde van de leerlingen gebruikt een laptop (10/29), tablets zijn minder populair in de wiskundeles (6/29) en smartphones worden niet vaak gebruikt in de wiskundeles (3/29).

Leerlingen met een visuele beperking gebruiken laptops voornamelijk om aantekeningen te maken tijdens de les en om oefeningen uit te schrijven, maar ook om klassikale en/of huiswerk opdrachtenkaarten op te schrijven, oefeningen te maken, informatie op internet te zoeken en om de wiskundige inhoud waaraan ze werken, uit te vergroten.

Voor jongere leerlingen dienen tablets als rekenmachine, ze worden ook gebruikt om de inhoud van het schoolbord uit te vergroten, om multimediale leerboeken en lessen op het internet door te bladeren, om visueel aantrekkelijke, multimediale educatieve programma's te gebruiken, bijv. *Klik uczy(Van klikken leer je)*. Dit is een serie Poolse programma's voor kinderen tot 9 jaar oud. In deze serie bestaat het programma *Klik uczy liczenia (Van klikken leer je tellen)*.

Smartphones, die niet vaak worden gebruikt in de wiskundeles, dienen als rekenmachine, om informatie te zoeken en lessen op internet te bekijken, ook om lessen op te nemen met toestemming van de leerkracht, om foto's te maken van ondersteunend lesmateriaal, en de inhoud van het schoolbord uitvergroten te lezen.

Hard- en software gebruikt in de wiskundeles door ziende leerlingen

Net als leerlingen met een visuele handicap beweert bijna de helft van de respondenten (14/29) dat leerlingen met een normaal gezichtsvermogen geen gebruikmaken van computerapparatuur in de wiskundeles en dat ze minder vaak gebruikmaken van laptops

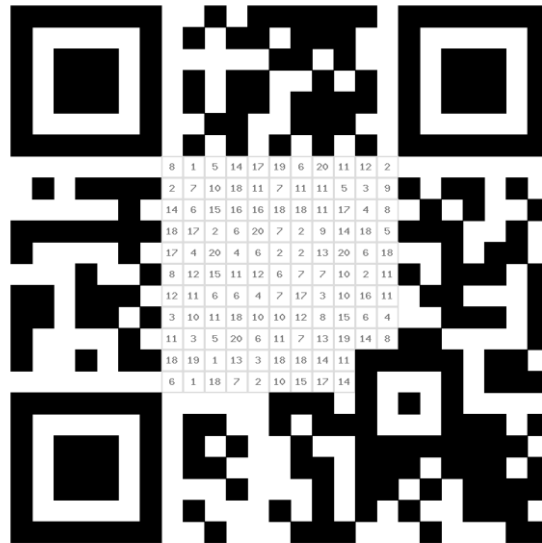
(7/29), wat kan worden verklaard door het feit dat een laptop niet nodig is voor ziende gebruikers om wiskundige inhoud op te nemen. Een laptop in de handen van een Poolse leerling met een normaal gezichtsvermogen tijdens een wiskundeles is geen algemeen fenomeen bij de bestudeerde leerlingen. Smartphones zijn nog minder populair (5/29).

Laptops worden gebruikt door ziende leerlingen om notities te maken en informatie op te slaan die ze tijdens de lessen hebben gekregen, naast oefeningen en opdrachtkaarten. Ook het maken van opgaven wordt ondersteund door laptops. Met behulp van laptops kunnen leerlingen gebruikmaken van e-lesboeken en andere internetbronnen die nodig zijn om wiskundeopgaven op te lossen. Leerlingen gebruiken die ook om grafiek van functies te tekenen.

Het gebruik van computerapparatuur door leerkrachten tijdens de wiskundeles

Uit de antwoorden van de leerkrachten blijkt dat zij tijdens de wiskundeles minder gebruikmaken van computerapparatuur dan hun ziende en slechtziende leerlingen. Dit beeld van het gebruik van laptops/tabletten/pc (totaal 12/29) lijkt niet te stroken met de resultaten van het onderzoek naar het gebruik van interactieve schoolborden en monitoren, dat verderop wordt getoond, en dat wijst op vaker gebruik van tafels en monitoren door meer dan de helft van de respondenten (17/29). Het is echter vermeldenswaard dat interactieve schoolborden en monitoren, wanneer ze eigen software gebruiken, autonoom kunnen functioneren zonder verbinding met een computer. Ze beschikken over eenvoudige formule-editors bijvoorbeeld, of in het geval van monitoren, over software die eerder is geïnstalleerd of beschikbaar is via Windows 10 (voorgeïnstalleerd op interactieve monitoren).

Leraren maken gebruik van een laptop om - op schermen of interactieve schoolborden - wiskundige inhoud, multimediapresentaties en educatieve films en e-lesboeken te maken en aan leerlingen te tonen. Laptops worden ook gebruikt om meetkundige constructie-oefeningen te creëren en weer te geven voor leerlingen. Tablets worden gebruikt voor soortgelijke functies, maar deze beschikken over extra toepassingen vergeleken met laptops. Ze hebben functies die vergelijkbaar zijn met die van smartphones, zoals oefeningen van een QR-code voorzien, wat de laatste tijd erg populair is in het onderwijs en niet alleen in het wiskundeonderwijs. De ingebouwde camera, zowel in tablets als smartphones, wordt gebruikt om QR-code(s) te lezen met een QR-codelezer, bijvoorbeeld met een populaire gratis QR-Droid-lezer. De uitgelezen QR-codes worden door de generatoren aangemaakt als standalone grafische bestand of als pdf. QR-codes worden ingevoerd op de print van de oefening of de instructie. De informatie die via QR-code wordt verkregen, is bijvoorbeeld de juiste oplossing of deel twee van de oefening. Een voorbeeld van het gebruik van een QR-code wordt getoond in Figuur 11. Dit is een onvolledige code, in te vullen door de leerling door de velden zwart te maken op basis van de getallen die de uitkomsten van de berekeningen zijn. Na het invullen van de velden leidt de uitgelezen QR-code naar deel twee van de oefening.



Figuur 11 QR-code aan te vullen met de uitkomsten van de berekeningen

Bron: <http://www.superbelfrzy.edu.pl>

Een smartphone helpt leerkrachten dus bij het maken van oefeningen/opgaven met QR-codes, vooral om de juistheid van de structuur van de oefening te testen, en ze worden door leerlingen gebruikt bij het oplossen van dit soort opgaven. Naast deze functie, die in principe door de leerkracht buiten de les wordt gebruikt, wordt de smartphone gebruikt door leerkrachten om snel informatie te zoeken die tijdens de les onverwacht nodig is, en om berekeningen te maken op de rekenmachine van de smartphone.

Creëren van ICT-ondersteunde opdrachtkaarten voor leerlingen

Het maken van opdrachtkaarten is overduidelijk een geautomatiseerd proces (26/29). Meestal verwijzen docenten naar het MS Office-pakket (Word en Excel) en het gratis programma GeoGebra (met een GNU GPL-licentie geproduceerd door het GeoGebra-team). Word wordt gebruikt door docenten om wiskundige inhoud en formules te maken, GeoGebra om tekeningen te maken van geometrische figuren en grafieken van functies. Daarnaast maken leerkrachten gebruik van internetbronnen op portals als scholaris.pl, het officiële MEN-portal (Ministerstwo Edukacji Narodowej) met leermiddelen waaronder de als nuttig beschouwde animaties van Ambulans en Play with Mirror. Het commerciële superkid.pl portal met leermiddelen voor alle vakken waaronder rekenen, voor jongere leerlingen tot 10 jaar oud, wordt ook gebruikt.

In een opmerking werd verwezen naar de PlatMat toepassing TEACHER, die noemenswaardig is omdat dit een innovatieve toepassing is die door het IMM is geïntroduceerd als onderdeel van ondersteunende technologie op PlatMat, die momenteel (2018) wordt ontwikkeld door NASK PIB. In deze applicatie zijn er drie formule-editors, en een editor voor eenvoudige multiplechoicetoetsen.

Leerkrachten geven het portaal thatquiz.org/pl in het Pools aan als goed hulpmiddel om wiskundetoetsen voor te bereiden. Die kunnen ook worden afgedrukt en naar een andere map gekopieerd, wat handig is bij het maken van opdrachtkaarten. Het portal biedt ook de mogelijkheid om online toetsen voor te bereiden en af te nemen, bijvoorbeeld tijdens de les

om die wat extra zwaarte te geven. Het is vermeldenswaard dat er diverse portals zijn die door wiskundeleraren worden gebruikt om wiskundetoetsen te maken en af te nemen, bijvoorbeeld het commerciële testportal.pl dat op het 3e Nationale Congres voor Wiskundeleraren is gepresenteerd. Na de toets levert dit portaal statistieken van de uitkomsten, hoewel in ons onderzoek docenten van visueel gehandicapte leerlingen op het portal thatquiz.org hebben gewezen.

Het creëren van ICT-ondersteunde wiskundige grafieken is door veel leerkrachten gemeld (21/29). De tool voor het maken van wiskundige afbeeldingen, is in de eerste plaats GeoGebra. Docenten gebruiken ook Paint (Windows applicatie), Gimp (opensource met een GPL-licentie) en het commerciële pakket CorelDraw (geproduceerd door Corel Corp.). Ze maken ook gebruik van eenvoudige grafische hulpmiddelen die eenvoudig beschikbaar zijn in MS Windows en het pakket LibreOffice, met grafische basisfuncties.

Elektronische opdrachtkaarten en oefeningen verstrekken wordt relatief zelden gedaan (11/29), op vier manieren:

- per e-mail (meestal)
- via de cloud (OneDrive)
- via een USB-stick
- het MS Office 365-pakket (en het bijbehorende MS Exchange en MS SharePoint).

Meer dan de helft van de respondenten (18/29) heeft gemeld dat ze ICT-ondersteunde toetsen hebben ontwikkeld. Leerkrachten gebruiken allerlei hulpmiddelen om toetsen voor te bereiden, de meeste daarvan zijn algemeen (kant-en-klaar, met diverse software, met een laptop). De portals thatquiz.pl en klasowki.pl, het (LMS) Moodle e-learning platform en de officepakketten MS Office en LibreOffice, werden bij naam genoemd. Paint en PlatMat TEACHER werden elk een keer genoemd.

In bijna de helft van de antwoorden (14/29) melden de respondenten dat ze gebruikmaakten van ICT voor rekenwerk in schriftelijke vorm. De meest gebruikte ondersteunende hulpmiddelen zijn sheets die gemaakt zijn met sheetgenerator SuperKid en sheets van de officepakketten MS Office en LibreOffice. In de overige antwoorden zijn de gebruikte instrumenten niet genoemd.

ICT-ondersteunende hulpmiddelen die in andere situaties worden gebruikt dan die die van de vragenlijst (3/29), zijn onder meer de vertaler van Word-teksten in braille Duxbury, voor het in reliëf afdrukken van wiskundige inhoud (opdrachtkaarten, oefeningen, diverse toetsen) in braille.

4.3.2.1.2 Analyse van onderzoeksgegevens over het gebruik van interactieve schoolborden en monitoren

Op meer dan de helft van de onderzochte scholen (17/29) maken leerkrachten gebruik van interactieve schoolborden en monitoren in de wiskundeles. De overgrote meerderheid van hen (15/17) maakt gebruik van interactieve schoolborden. Slechts in twee gevallen werden interactieve monitoren aangegeven, wat overeenkomt met de door onderzoek bevestigde IT-

apparatuur van scholen met beduidend meer interactieve schoolborden. Volgens de respondenten zijn scholen waar leerkrachten tijdens de wiskundeles geen gebruikmaken van interactieve apparatuur van het type schoolbord/monitor (11/29), in de minderheid.

De beschikbaarheid van laptops, tablets en smartphones in de wiskundeles is afhankelijk van de school. Op een zeer groot aantal van de onderzochte scholen (12/29) maken de leerlingen helemaal geen gebruik van IT-apparatuur in de wiskundeles. Op andere instellingen die binnen het onderzoek vallen, zijn laptops het populairst (10/29), smartphones worden minder vaak gebruikt (7/29) en tot slot tablets (5/29).

Op basis van door de deelnemers verstrekte informatie, worden de interactieve schoolborden en monitoren in het wiskundeonderwijs van leerlingen met een visuele beperking het vaakst gebruikt voor het uitvergroten van de weergegeven inhoud van oefeningen voor de slechtziende leerlingen (19/29), met een passende vergroten van de kleurverschillen door meer contrast (14/29), en voor groepswork, vooral gericht op slechtziende leerlingen (14/29). Deelname van blinde leerlingen aan groepswork tijdens de les met behulp van interactieve apparatuur, is te verwaarlozen. Maar één leraar gaf aan dat dit type activiteit op zijn/haar school plaatsvindt. De schoolborden worden ook vaak gebruikt voor het weergeven van multimediabestanden (11/29).

De resultaten van het onderzoek bevestigden het beperkte gebruik van interactieve schoolborden en monitoren op het gebied van toetsen. Slechts (5/29) leerkrachten verklaarden dat ze toetsen afnamen met een interactieve methode, tastgebaren of een QWERTY-toetsenbord. Het is vermeldenswaard dat er geen enkele school was waar toetsen werden afgenomen in braille met behulp van een brailletoetsenbord. Daarnaast bevestigden de leerkrachten het gebruik van interactieve schoolborden en monitoren voor het maken, zoeken en verzamelen van multimediale leermiddelen en voor het geven van les in interactief coderen.

De opmerkingen van de respondenten over het melden van nuttige functies om wiskunde te leren met behulp van een interactief schoolbord (of monitor), waren vooral gericht op het weergeven van inhoud die door de leraar op de computer is geschreven (22/29), en inhoud die door leerlingen op de computer is gemaakt (19/29). Het verzenden van inhoud die op het interactieve schoolbord is opgeslagen naar de computer van de leerling zodat slechtziende en de blinde leerlingen die konden lezen, werd ook als belangrijk beschouwd (17/29). Leerkrachten wezen op de noodzaak voor ondersteuning van toetsen door gebruik te maken van een interactief schoolbord, in het bijzonder voor:

- het screenen van de inhoud op het schoolbord (17/29)
- verzenden naar computers van leerlingen (13/29)
- het weergeven op het schoolbord van de door de leerlingen behaalde cijfers (10/29)
- het weergeven op het schoolbord van de antwoorden van een oefening vanaf een door de leraar geselecteerde computer van een leerling (15/29).

Bij het lesgeven aan leerlingen met een visuele beperking met behulp van een interactief schoolbord, zou automatische correctie van hun handschrift op het schoolbord ook nuttig zijn, omdat een slordig handschrift vaak onleesbaar is voor de leerkracht en andere leerlingen in de klas. Het werk van de leerkracht zou gemakkelijker zijn als de inhoud die tijdens de les op

het schoolbord wordt gemaakt, genummerd zou zijn zodat erin kan worden gebladerd, markeringen kunnen worden aangebracht en tekstfragmenten die van belang zijn voor de oplossing van de opgave, kunnen worden onderstreept. Daarnaast gaven docenten aan dat het nodig is om delen van het lesboek uitvergroot weer te geven voor visueel gehandicapte leerlingen, naast de e-lesboeken

4.3.3 Conclusies van het onderzoek naar het gebruik van ondersteunende ICT-instrumenten.

Op basis van de uitkomsten van eerdere vragenlijsten uit 2014, staan leerkrachten open voor automatisering van het onderwijsproces en kan worden gesteld dat ze volledig geautomatiseerd zijn in de voorbereiding van lesmateriaal voor de wiskundeles. Deze conclusie kan indirect worden getrokken op basis van de aangegeven ICT-instrumenten die worden gebruikt om lesmateriaal voor te bereiden voor de les. De creatie van opdrachtkaarten voor leerlingen met behulp van ICT-hulpmiddelen werd door bijna alle leerkrachten (26/29) gemeld, wat rekening houdend met het weinige gebruik van onderwijscomputers in de wiskundeles (12/29), het resultaat is van de hoge graad van digitalisering van de leerkrachten thuis. Leerkrachten bereiden opdrachtkaarten, oefeningen en toetsen voor met behulp van de ICT-hulpmiddelen die hun voorkeur hebben. Ze gebruiken zowel hulpmiddelen die op hun computer zijn geïnstalleerd als online bronnen om kant-en-klaar lesmateriaal te krijgen, bijvoorbeeld animaties om lessen interessanter te maken of om toetsen voor te bereiden. De digitalisering van leerkrachten en alle leerlingen in de klas voor de wiskundeles, blijft een probleem.

De verzamelde gegevens tonen aan dat interactieve apparatuur van het type schoolbord/monitor worden gebruikt voor wiskundeonderwijs aan leerlingen met een visuele beperking, vooral voor slechtziende leerlingen, die vooral worden gebruikt om de inhoud van oefeningen uitvergroot weer te geven en voor groepswork van deze leerlingen. Blinde leerlingen horen vooral geluiden die op een multimediaal schoolbord worden afgespeeld.

Het geobserveerde beperkte gebruik van interactieve apparatuur tijdens wiskundetoetsen, geldt niet voor leerlingen die braille gebruiken. Leerkrachten meldden niet het gebruik van brailletoepassingen zoals een brailletoetsenbord bij het maken van toetsen op het interactieve schoolbord, maar meldden het gebruik van gebaren en een QWERTY-toetsenbord.

Blinde leerlingen hebben niet de mogelijkheid om de inhoud nauwkeurig met de hand op een interactief schoolbord te schrijven, en de afbeeldingen en formules die door de leerkracht of slechtziende leerlingen op een interactief schoolbord zijn gemaakt, zijn niet voor hen beschikbaar. Het gevolg is dat zij niet actief kunnen deelnemen aan een les die wordt ondersteund door een interactief schoolbord. Deze ongemakkelijke situatie van blinde leerlingen kan een van de redenen zijn waarom het gebruik van interactieve apparatuur in het wiskundeonderwijs van leerlingen met een visuele handicap, beperkt is. In mindere mate geldt dit ook voor homogene klassen die alleen worden bijgewoond door slechtziende leerlingen. In het geval van gemengde klassen waar zowel slechtziende als blinde leerlingen aan deelnemen, is dit relevanter. De lage mate van automatisering van leerlingen in de wiskundeles is niet bevorderlijk voor het oplossen van dit probleem. Hoewel de meest gebruikte apparatuur in de wiskundeles een laptop is, zowel in het bezit van school als particulier, is het gebruik ervan nog steeds allesbehalve toereikend.

De interactieve schoolborden zijn voorzien van educatieve software die ook geschikt is voor wiskunde. Onder andere kunnen er tekeningen mee worden gemaakt en wiskundige formules worden opgeschreven. De inhoud op het schoolbord kan vervolgens worden geëxporteerd in diverse bestandsformaten, waaronder HTML. Helaas zijn de tekeningen, uitdrukkingen en afbeeldingen opgeslagen in de html-bestanden (png, jpg), en zijn deze niet als structurele objecten opgeslagen in MathML (formules) of SVG (vectorafbeeldingen), wat betekent dat ze niet toegankelijk zijn voor blinde leerlingen. Een aantekening van een les die op deze manier is gemaakt, heeft niet veel nut voor een blinde leerling.

Alle deelnemers moeten over een computer beschikken, anders is uitwisseling van wiskundige inhoud en informatie tussen de leerkracht en de leerlingen en een betere beschikbaarheid van hulp van de leerkracht in de klas en buiten de les niet mogelijk.

De lesmaterialen die door de docenten worden voorbereid, worden door de leerlingen in gedrukte vorm ontvangen. Lesmateriaal voor slechtziende leerlingen wordt in een uitvergroet formaat afgedrukt, en braille-afdrukken van opdrachtkaarten worden verkregen na omzetting in brilleschrift met behulp van het programma Duxbury die vervolgens worden afgedrukt. Typografische afdrukken met wiskundige grafieken van opgaven worden afgedrukt met brailleprinters (bijv. ViewPlus), of door het gebruik van een steeds populairdere technologie: zwart-wit afdruk van afbeeldingen op swellpapier dat vervolgens op een verwarmers wordt verhit. Een ViewPlus printer is ongeveer 10 keer duurder dan een verwarmers, vandaar de populariteit van swellpapier.

We kunnen zeggen dat we het proces van het voorbereiden van wiskunde lesmateriaal geautomatiseerd en gedigitaliseerd hebben, maar niet dat van lesgeven in de klas. Er is een gebrek aan ICT-hulpmiddelen die vooral permanente ondersteuning bieden voor het werken van blinde leerlingen aan wiskundeopgaven die tot nu toe brailleapparatuur hebben gebruikt tijdens de wiskundeles (brailers, braille-schriften, die niet zijn uitgerust met ICT-hulpmiddelen die lesmateriaal van wiskunde ondersteunen).

Slechtziende leerlingen profiteren van vier soorten ondersteuning in de klas:

- door uitvergroting van de inhoud op het beeldscherm kunnen ze de vergelijkingen-editor gebruiken die beschikbaar is in Word en notities maken in deze editor
- ze gebruiken afgedrukt lesmateriaal in een groter lettertype en monitoren die afgedrukt materiaal of een schrift van een leerling uitvergroten, ook wanneer de leerling in het schrift schrijft
- ze hebben, hoewel niet vaak, digitale uitvergrotingen van foto's van de inhoud van het schoolbord
- ze gebruiken mobiele telefoons om de inhoud van het schoolbord of uit lesboeken uit te vergroten, of die als foto op te slaan en dan uitvergroet weer te geven.

Dit soort ondersteuning is echter onvoldoende vanwege de grote verschillen bij visueel gehandicapte leerlingen in de mate van de visuele handicap, waarvoor vaak technieken en hulpmiddelen voor blinde leerlingen nodig zijn, zoals het lezen van wiskundige inhoud met een computerstem, de mogelijkheid om door de structuur van een formule te navigeren waarbij gelijktijdig de formule-elementen worden opgelezen.

Betere inclusie van ICT ter ondersteuning van leerlingen in de wiskundeles, blijft een probleem, waardoor systemische oplossingen noodzakelijk lijken om te voldoen aan de behoefte aan:

- informatisering van de wiskundeles
- leerlingen laptops geven
- training van docenten en leerlingen op het gebied van ICT-ondersteuning
- introductie van ICT in het wiskundeonderwijs in de vroege stadia van het onderwijs, wat de leerlingen in dit onderzoek zelf hebben uitgesproken (eerder in dit artikel besproken).

4.3.4 Beoordeling en examinering

Landelijke informatie over de middelbare school en middelbare schoolexamens

Informatie over examinering en beoordeling van visueel gehandicapte leerlingen is verzameld op basis van verslagen van de Centrale Examencommissie in Polen (CKE - Centralna Komisja Egzaminacyjna) in Polen [44] [45] [46] [47] [48] [49] [50] over de examenresultaten in het middelbaar onderwijs van de laatste jaren, en op basis van deskundige rapporten van wiskundeleraren van een voorbeeld SOSW voor blinde en slechtziende kinderen.

Wiskunde is een verplicht vak op het eindexamen lagere en hogere middelbare school. Bij het eindexamen wiskunde van de onderbouw middelbare school wordt het niveau beoordeeld van middelbare scholieren wat betreft het wiskundeprogramma in de tweede en derde onderwijsfase. In het eindexamen middelbare school wordt getoetst in hoeverre de schoolverlater voldoet aan de eisen wat betreft kennis van wiskunde zoals opgenomen in het onderwijsprogramma van het algemeen vormend onderwijs in de vierde onderwijsfase. De opgenomen opgaven in het examen kunnen echter, volgens het principe van accumulatie dat in het kerncurriculum is opgenomen, verwijzen naar de vereisten van eerdere fasen (eerste, tweede en derde).

Het verplichte middelbare schoolexamen wiskunde onderbouw doen leerlingen examen op één niveau - het basisexamen. De uitslag van het eindexamen middelbaar onderwijs onderbouw heeft geen invloed op het afronden van school en dit wordt niet op het einddiploma van de school genoteerd, maar wel in aanmerking genomen bij de inschrijving voor hoger middelbaar onderwijs. Het eindexamen wiskunde als verplicht vak, wordt afgenomen op basisniveau. Als een leerling wiskunde als extra vak heeft gekozen, wordt een zwaarder examen afgenomen.

Het kernprogramma wiskunde op alle onderwijsniveaus is voor ziende leerlingen en visueel gehandicapte leerlingen hetzelfde. Daarom bevatten alle wiskundige examens voor visueel gehandicapte leerlingen dezelfde opgaven als de standaard examens, maar in een vorm die is aangepast aan het soort handicap van de leerling die een verklaring speciaal onderwijs heeft vanwege een handicap.

Slechtziende leerlingen krijgen een examen in aangepaste lettergrootte (Arial punt 16 en Arial punt 24) en vereenvoudigde en uitvergroete grafische vormen. Voor blinde leerlingen wordt het examen voorbereid in braille met tekeningen in reliëf. Sinds 2016 worden tekeningen voor blinden niet alleen in de inhoud van het examen opgenomen, maar ook in een apart boekje.

De examenprocedure omvat ook een aanpassing van de examenvoorwaarden om beperkingen als gevolg van de handicap van de leerling, tot een minimum te beperken. Dit houdt onder meer in het gebruik van speciale apparatuur (braillemachine, speciaal aangepaste computer, cubaritme, folie met tekenaccessoires, optische apparatuur), betere verlichting voor de slechtziende leerling, examentijd wordt met 30 minuten verlengd. Ook wordt gezorgd dat er tijdens het examen een docent aanwezig is die de leerling helpt bij het lezen van opdrachten en teksten en/of het schrijven van de antwoorden van de leerling die examen doet op vellen papier die op een zwart-wit printer liggen. Als de examinandus

gebruikmaakt van de hulp van een ondersteunende docent, moet het examen worden opgenomen met behulp van een geluidsopnameapparaat. De geluidsopname is een integraal onderdeel van het examen. Deze manier van examen doen is bijvoorbeeld bedoeld voor volledig blinde leerlingen of in situaties waarin het gezichtsvermogen tijdens het de middelbare school steeds slechter werd en ze geen braille beheersen op een niveau dat ze in staat zijn om zelfstandig het examen af te leggen.

De meerderheid van de visueel gehandicapte leerlingen maakt geen gebruik van een computer bij het wiskunde-examen, hoewel er soms gevallen zijn die deze ondersteuning krijgen.

In 2017 omvatte het standaard wiskunde-examen op het junior eindexamen op de middelbare school 23 opgaven, waaronder 20 gesloten opgaven en 3 open opgaven. Bij de gesloten opgaven waren de meeste multiple-choice vragen waarbij één antwoord moest worden gekozen, vijf waar/niet waar-vragen (de waarheid van zinnen beoordelen), en één vraag beantwoorden en de juiste verklaring daarvoor geven. Bij de open opgaven moesten de middelbare scholieren onderbouw hun eigen oplossing formuleren. De opgaven omvatten een tabel, tekeningen en grafieken.

Het eindexamen middelbare school bestaat uit drie groepen opgaven:

- Groep I bevat gesloten opgaven. Bij elke opgave worden vier antwoorden gegeven, waarvan er maar één juist is. De leerling geeft het juiste antwoord aan op het antwoordblad. Elk antwoord in deze groep wordt beoordeeld op een schaal van 0-1.
- Groep II bevat open opgaven waarop een kort antwoord moet worden gegeven. De leerling geeft een korte uitleg bij zijn/haar antwoord. Opgaven uit deze groep worden beoordeeld op een schaal van 0-2.
- Groep III bevat open opgaven waarop een uitgebreid antwoord moet worden gegeven. Deze opgaven vragen om een zorgvuldige planning van de antwoordstrategie en een weergave van de redenering. Ze worden beoordeeld op een schaal van 0-4, 0-5 of 0-6.

In 2017 bestond een voorbeeld eindexamen wiskunde op basisniveau uit 25 gesloten multiple-choice opgaven en 9 open opgaven waarvan 6 met een kort antwoord en 3 met een uitgebreid antwoord. Met de opgaven werden de kennis en vaardigheden getoetst die zijn beschreven in de vijf domeinen van het kernprogramma algemene wiskunde: gebruik en creatie van informatie (vijf gesloten opgaven), gebruik en interpretatie van de weergave (veertien gesloten opgaven en één open opgave met een kort antwoord), wiskundige modellering (vijf gesloten opgaven, drie open opgaven met korte antwoorden), creatie en gebruik van strategie (één gesloten opgave), drie open opgaven met uitgebreide antwoorden, en redeneren en argumenteren (twee open opgaven met korte antwoorden).

Wiskunde-examens worden steeds universeler en vereisen slechts weinig aanpassing van de opgaven aan de behoeften van kandidaten met een visuele handicap. In 2015-2017 werden in de eindexamens wiskunde op basisniveau die elk 34 opgaven omvatten, maar in 9 opgaven wijzigingen aangebracht. Deze wijzigingen omvatten:

- een tekening verwijderen en die vervangen door een mondelinge beschrijving
- vereenvoudiging van tekeningen

- de waarden van de in de tekening opgenomen hoeken overbrengen naar de tekst van de opgave en deze in de tekening, vervangen door symbolen
- het vervangen van een afbeelding van een projectie van een cilinder door een dwarsdoorsnede
- de opgave aanvullen met gegevens: aan de grafiek van een kwadratische functie is een tabel toegevoegd met de waarden van bepaalde onafhankelijke variabelen
- het vervangen van eenvoudige fracties in de tekst van de opgave door fracties in decimale vorm.

De examens van blinde en slechtziende leerlingen worden beoordeeld aan de hand van dezelfde criteria als die van leerlingen zonder beperking.

Leerlingen	2017	2016	2015
slechtziendheid en blindheid	795	764	733

Tabel 16 leerlingen die opgaven maken van aangepaste eindexamens wiskunde op de middelbare school

Bron: Eigen werk gebaseerd op [44] [45] [46]

Uit de gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CSO) die in Tabel 17 zijn verzameld, blijkt dat het aantal leerlingen met een visuele handicap in het hoger middelbaar onderwijs in Polen in het schooljaar 2015/2016 met 12% is gestegen ten opzichte van het schooljaar 2013/2014. De gegevens in Tabel 18 wijzen op een vergelijkbare toename, met 13%, van het aantal gehandicapte leerlingen in de hoogste klassen van het middelbaar onderwijs, wat kan betekenen dat leerlingen in het hoger middelbaar onderwijs doorgaan tot het eindexamen. De CSO-rapporten bevatten geen gedetailleerde statistische gegevens over middelbare scholieren die eindexamen middelbaar onderwijs doen in relatie tot de soort handicap, waaronder visuele handicaps, maar verwijzen naar alle gehandicapte leerlingen (Tabel 18). Op basis van de gegevens van de Centrale Examencommissie (CEC) Tabel 19 is bekend dat in dezelfde periode van de onderzochte drie studie jaren, het aantal visueel gehandicapte leerlingen dat eindexamen middelbare school deed, met 11% is gestegen. Door gebrek aan gedetailleerde gegevens is het echter niet mogelijk om vast te stellen welk percentage leerlingen in de groep eindexamenkandidaten met een visuele handicap, eindexamen middelbare school heeft gedaan (*in Polen kun je een diploma hoger middelbaar onderwijs krijgen zonder het eindexamen middelbare school te hebben behaald*). Informatie over dit onderwerp, met als voorbeeld gegevens van één speciale school en een educatief centrum, wordt gepresenteerd in het volgende deel van het artikel.

Soort school	Schooljaar 2015/2016		Schooljaar 2014/2015		Schooljaar 2013/2014	
	blind	slechtziend	blind	slechtziend	blind	slechtziend
Middelbare scholen	17	495	11	424	16	415

Bijzondere middelbare scholen	31	124	34	128	40	151
Technische scholen	5	408	4	322	3	269
Bijzondere technische scholen	35	153	37	157	45	196
Totaal alle middelbare scholen	88	1180	86	1031	104	1031

Tabel 17 Blinde en slechtziende leerlingen op openbare en speciale middelbare scholen in Polen

Bron: eigen werk op basis van rapporten van het CSO over onderwijs en opvoeding. [51] [52] [53]

	Schooljaar 2015/2016	Schooljaar 2014/2015	Schooljaar 2013/2014
Soort school	Geslaagde gehandicapte eindexamenkandidaten		
Middelbare scholen	1272	1175	1037
Bijzondere middelbare scholen	321	351	273
Technische scholen	248	232	253
Bijzondere technische scholen	75	50	128
Totaal alle middelbare scholen	1916	1808	1691
Totaal alle hogere middelbare scholen	1593	1526	1310
Totaal alle technische scholen	323	282	381

Tabel 18 Geslaagde gehandicapte eindexamenkandidaten op openbare en speciale middelbare scholen in Polen.

Bron: eigen werk op basis van rapporten van het CSO over onderwijs en opvoeding. [51] [52] [53]

Examen wiskunde	Cursisten	Schooljaar 2015/2016	Schooljaar 2014/2015	Schooljaar 2013/2014
basisniveau	slechtzied	348	303	310
	blind	25	19	25
	overige	738	622	667
uitgebreid niveau	slechtzied	63	41	33

	blind	3	3	3
	overige	173	124	81
Totaal op basisniveau	alle handicaps	1111	944	1002
Totaal op uitgebreid niveau	alle handicaps	239	168	117

Tabel 19 leerlingen die opgaven maken van aangepaste examens op het eindexamen wiskunde van de middelbare school

Bron: Eigen werk gebaseerd op [47] [48] [49]

	Schooljaar 2015/2016	Schooljaar 2014/2015	Schooljaar 2013/2014
Soort school	Geslaagde gehandicapte eindexamenkandidaten		
Middelbare scholen	652	629	515
Bijzondere middelbare scholen	94	93	102
Technische scholen	182	139	118
Bijzondere technische scholen	38	31	29
Totaal alle middelbare scholen	966	892	764

Tabel 20 Gehandicapte eindexamenkandidaten van openbare en speciale scholen in Polen die het diploma middelbaar onderwijs hebben behaald.

Bron: Eigen werk gebaseerd op [51] [52] [53]

Uit de gegevens van het CEC in Tabel 19 blijkt dat de groep blinde en slechtziende leerlingen die deelnemen aan het eindexamen middelbare school in de bestudeerde periode, ongeveer 33% beslaat van alle leerlingen die aangepaste opgaven maken van het verplichte wiskunde-examen. Niet elke handicap vereist een aangepast examenblad voor de middelbare school. Een bepaald percentage gehandicapte leerlingen maakt het standaard examen. Daardoor kan het zijn dat niet alle gehandicapte leerlingen die in een bepaald schooljaar eindexamen middelbare school hebben gedaan, zijn opgenomen in de gegevens van Tabel 19. Vergelijking van de informatie van het Centraal Bureau voor de Statistiek over gehandicapte geslaagden van het eindexamen hoger middelbaar onderwijs met gegevens van het CEC over het aantal gehandicapte leerlingen die een aangepast eindexamen middelbaar onderwijs doen, stelt ons in staat vast te stellen dat in 2014-2016 meer dan de helft (56%) van alle gehandicapte kandidaten eindexamen hoger middelbaar onderwijs heeft gedaan, en dat 85% van de leerlingen uit deze groep, is geslaagd voor het eindexamen en een diploma middelbaar onderwijs heeft ontvangen. Door mogelijke onderschatting in de CKE-rapporten van het aantal gehandicapte leerlingen dat eindexamen middelbare school heeft gedaan, zoals hierboven vermeld, kan de werkelijke verhouding tussen het aantal gehandicapte leerlingen die

eindexamen hebben gedaan, hoger liggen, en kan het werkelijke slagingspercentage lager zijn.

Maar weinig visueel gehandicapten die eindexamen middelbare school doen, doen ook eindexamen wiskunde in de uitgebreide variant, zoals aangegeven in Tabel 19. Het percentage leerlingen dat examen doet in de uitgebreide variant, is in beide groepen gelijk: in 2014-2016 gemiddeld 13% (blind) en in dezelfde periode gemiddeld 14% (slechtziend). Het gebrek aan belangstelling voor dit examenniveau komt doordat leerlingen een hoger niveau van wiskundige competentie moeten hebben en een visuele handicap is daar een zeer ernstige belemmering voor.

Detailinformatie over middelbare schoolexamens betreffende het voorbeeld van de gekozen SOSW

De genoemde rapporten van de CEC (Centrale Examencommissie) bevatten geen informatie over het percentage leerlingen met een visuele handicap dat slaagt voor de middelbare school onder- en bovenbouw, wat van belang is voor de auteurs van het onderzoek. Deze gegevens zijn niet gemakkelijk te vinden. Het is ook moeilijk om gegevens te verkrijgen over het gebruik van ondersteunende ICT door visueel gehandicapte leerlingen tijdens het eindexamen middelbare school. Om de auteurs en lezers van een onderzoek op dit kennisgebied enige informatie te verstrekken, in ieder geval gebaseerd op voorbeeldgegevens, heeft het NASK PIB in mei 2018 deskundigen van een van de grootste speciale centra, in het kader van het aantal scholen³ en leerlingen, opdracht gegeven om twee onderzoeken voor te bereiden. Eén onderzoek betrof een analyse van de toegankelijkheid van de opgaven van het eindexamen 2015-2017 en de beschikbaarheid van ICT-ondersteuning voor leerlingen tijdens het eindexamen hoger middelbaar onderwijs⁴. Het tweede onderzoek was naar aanleiding van de conclusies en de aanbevelingen van het CEC over de eindexamens middelbare school van de jaren 2015-2017⁵, vanuit het perspectief van de SOSW's (Special School and Education Centres).

Examen wiskunde	Cursisten	2017	2016	2015
basisniveau	slechtziend	21	10	7
	blind	3	5	6

³ Het centrum omvat: Basisschool, middelbare school onderbouw, technische school, industriële school, arbeidsvakschool, post-basisschool, middelbare school voor volwassenen, school voor muziek eerste niveau

⁴ *Analyse van problemen met de toegankelijkheid van wiskundeopgaven op basis- en uitgebreid niveau van de eindexamens middelbare school van de laatste 3 jaar, aangepast in termen van vorm [zonder de inhoud te wijzigen] en vervangende taken [met gewijzigde inhoud] voor blinde en slechtziende leerlingen, en beoordeling van de mogelijkheid om deze te voorzien van ICT-ondersteuning.*

⁵ *Aanvullingen op de conclusies en aanbevelingen van de CEC-rapporten over het eindexamen wiskunde van de laatste 3 jaar met betrekking tot de uitslagen van a) blinde leerlingen, b) slechtziende leerlingen op basis van de eindexamens middelbare school op basis- en uitgebreide niveau in het SOSW.*

uitgebreid niveau	slechtziend	2	0	1
	blind	0	0	0

Tabel 21 Leerlingen van de technische school die taken oplossen in aangepaste eindexamens wiskunde bij de SOSW-steekproef voor blinde en slechtziende kinderen.

Bron: Eigen werk

In totaal deed 62% van de blinde en slechtziende leerlingen bij een SOSW in 2015-2017 eindexamen, waarvan een iets hoger percentage blinde leerlingen (64%) vergeleken met slechtziende leerlingen (60%).

In 2015 werd het eindexamen wiskunde op SOSW's door 54% van de leerlingen met goed gevolg afgelegd, wat 16 procentpunten lager was dan het aantal leerlingen met een visuele beperking op een middelbare technische school in Polen. In 2016 bedroeg dit percentage 47% en was dat 28 procentpunten lager dan het totale slagingspercentage in Polen. In het jaar daarop, 2017, werd bij de SOSW's 72% gehaald, maar iets lager dan het gemiddelde slagingspercentage van het wiskunde-examen op technische scholen in Polen, dat 79% was.

In 2015 bedroeg het gemiddelde resultaat van het eindexamen wiskunde bij de SOSW's 44%, terwijl het algemene gemiddelde resultaat in Polen op dit type scholen bij leerlingen met een visuele beperking 1 procentpunt lager was, oftewel 43%. De beste leerlingen behaalden hoge cijfers op het niveau van 80%, 92% en 94%. Het jaar daarop bedroeg het gemiddelde percentage bij de SOSW's 34%, terwijl in Polen het gemiddelde percentage van de technische schoolverlaters 12 procentpunten hoger lag, oftewel 46%. In 2017 was het gemiddelde resultaat van het eindexamen wiskunde bij SOSW's 40%, dus 6 procentpunten hoger dan het gemiddelde resultaat bij SOSW's in 2016 en 5 procentpunten lager dan het gemiddelde resultaat van alle technische scholen in Polen, dat 45% bedroeg.

Volgens de leerkrachten varieert zowel het aantal leerlingen dat eindexamen middelbare school doet als het slagingspercentage van dit examen per jaar en hangt dit in grote mate af van de intellectuele vermogens van de leerlingen, de hoeveelheid tijd die ze in leren steken en hun betrokkenheid, maar ook van hun algemene gezondheid wat van invloed is op de systematische deelname aan schoolactiviteiten.

In de laatste drie jaar hebben bij SOSW's slechts twee leerlingen met een visuele beperking gebruikgemaakt van een computer tijdens het wiskunde-examen middelbare school. In het eerste geval las de leerling zelf de inhoud van het papier dat onder een vergrotingsapparaat was geplaatst die verbonden was met de computer, maakte de opgaven vervolgens met de hand en schreef de uitkomsten met pen op de antwoordkaart. In het tweede geval beschikte de leerling over een aangepaste elektronische versie van het examen in pdf-formaat en maakte hij/zij gebruik van de hulp van een ondersteunende docent bij lezen en schrijven. Terwijl de inhoud van het examen door de leraar werd voorgelezen, keek de leerling daar tegelijkertijd naar op het computerscherm. Het is vermeldenswaard dat in beide gevallen de leerling de computer niet gebruikte om de uitkomsten digitaal op te schrijven, maar die alleen diende voor het lezen van het examen.

Na analyse van de resultaten van het eindexamen wiskunde op basisniveau van 2015-2017 in de SOSW's, kunnen we de kennisgebieden en vaardigheden bepalen die de blinde en slechtziende leerlingen gemakkelijker leren dan andere. Het gaat hierbij onder meer om opgaven op het gebied van:

- elementaire concepten van de statistiek
- eigenschappen van de rekenkundige progressie

- eigenschappen van meetkundige figuren
- lezen van eenvoudige grafieken van functies.

De meeste eindexamenkandidaten binnen het hoger middelbaar onderwijs konden correct opgaven oplossen waarvoor gebruik van een specifieke formule en bepaalde vaardigheden uit het kernprogramma nodig waren.

De opgaven waarmee leerlingen problemen hadden, kwamen uit diverse onderdelen van het onderwijsprogramma, wat betekent er geen specifiek gebied is dat als erg verwaarloosd kan worden aangemerkt waar meer interventie is vereist. Moeite werd onder meer geconstateerd bij opgaven over:

- wiskundige modellering en het uitvoeren van percentageberekeningen
- gebruik en interpretatie van de weergave
- kennis van elementen van beschrijvende statistiek, kansberekening en combinatoriek
- het gebruik en het creëren van strategieën met eenvoudige relaties tussen goniometrische functies
- het tonen van afhankelijkheden tussen de in de tekening weergegeven velden met figuren (blinde leerlingen)
- het oplossen van vergelijkingen of lineaire vergelijkingen met twee onbekenden (blinde en slechtziende leerlingen)
- goniometrie
- planimetrie
- ruimtemeetkunde
- sequenties en verkorte vermenigvuldigingsformules
- wortels en principes van handelingen met wortels
- de definitie en de formule van een logaritme toepassen voor de logaritme van een product, de logaritme van een quotiënt en de logaritme van een macht met een natuurlijke exponent.

Een veelvoorkomend probleem bij het wiskunde-examen voor blinde leerlingen is een tekening correct lezen en interpreteren, anders kan een opgave niet worden opgelost. Soortgelijke problemen ontstaan bij opgaven waarbij een goed getekende grafiek een belangrijke rol speelt, omdat daarmee bepaalde afhankelijkheden te zien zijn. Blinde leerlingen kunnen in zo'n geval alleen op hun verbeelding afgaan. Vaak doen leerlingen geen poging om taken met de opdracht 'laat zien' of 'verklaar' op te lossen waarbij in algebra of meetkunde bewijsvoering is vereist. Een ander belangrijk obstakel zijn rekenfouten van leerlingen in de diverse stadia van het oplossen van de opgave, wat vaak tot tegenstrijdige resultaten leidt.

De resultaten van de eindexamens middelbare school geven aan dat de opgaven die goed zijn opgelost, vooral opgaven zijn waarvoor in het oplossingsproces niet te veel stappen nodig zijn of een zorgvuldige strategiekeuze. Opgaven waarvoor het uitdenken en uitvoeren van een strategie in meerder fasen is vereist, zijn het moeilijkst.

4.3.5 Toegang tot formules voor blinde leerlingen

In Poolse schoolboeken wordt gebruikgemaakt van wiskundige, fysische en chemische brailnotenotatie (BNM), uitvoerig beschreven in het gezamenlijke werk onder redactie van Jan Świerczek [54]. Deze notatie is gebaseerd op de internationale wiskundige notatie van Helmut Efeze, de zogeheten 'Marburgse notatie' [55]. Hiermee is het mogelijk om met behulp van zespuntsbraille, uitdrukkingen uit te schrijven die binnen het kernprogramma wiskunde en exacte vakken vallen tot en met het hoger onderwijsniveau.

In het zespuntssysteem is het aantal tekens beperkt tot 64. Daarom is het nodig om specifieke regels nauwkeurig en consistent toe te passen in de wiskundige notatie. Eén teken kan meerdere betekenissen hebben, afhankelijk van de context. Een belangrijke functie binnen het brailleschrift is de volgorde van de tekens. Heel belangrijke informatie komt ook tot uiting in het ontbreken van een teken: een zogeheten 'leeg teken' (spatie, lege ruimte). De meeste wiskundige symbolen worden in braille weergegeven met twee of drie tekens. Om complexere uitdrukkingen en formules in braille te schrijven, worden niveau-indicatoren (boven en onder) en speciale haakjes en belangrijke tekens gebruikt. Het basisniveau, ook wel nulniveau genoemd, heeft symbolen in de tekstregel. Opeenvolgende niveaus worden zowel boven als onder recursief gedefinieerd.

Vergelijkingen lezen door blinde leerlingen

Blinde leerlingen van Poolse scholen leren wiskunde in de Poolse brailnotenotatie BNM (Brajłowska Notacja Matematyczna) met behulp van braillemachines (Brailers) en brailleprinters. Lesmaterialen voor de wiskundeles krijgen ze in tactiele vorm. Dit zijn braille- en typografische afdrukken, maar ook tactiele leermiddelen zoals een cubaritme om te leren rekenen, vouwmodellen van ruimtelijke figuren en hun projecties. Meestal worden formules afgelezen van brailleafdrukken. Leerlingen die eigen apparatuur hebben, maken aantekeningen van lessen in braille en voeren de formule in BNM in.

Uitschrijven van wiskundige formules door blinde leerlingen in Polen

Blinde leerlingen schrijven formules op en passen die aan op braillemachines. Ze schrijven de gedicteerde inhoud op met een braillemachine. Correctie van fouten met braillemachines kost naar mening van de docenten op een van de onderzochte SOSW's, niet meer tijd dan bij een digitale versie. Bij een zespuntsnotatie schrappen ze de onjuiste invoer en schrijven ze het juiste antwoord eronder. Ze kunnen aantekeningen maken met behulp van eigen computerapparatuur. Dit gebeurt door oudere leerlingen.

4.3.6 Toegang tot wiskunde voor visueel gehandicapte leerlingen

Leerlingen met een visuele beperking, hebben in de klas een loep, een monitor die voorwerpen op tafel uitvergroot, een monitor die de inhoud van het schoolbord uitvergroot, en een interactief schoolbord om uitvergroete inhoud met meer contrast weer te geven.

Slechtziende leerlingen schrijven in schriften, hoewel er wel problemen zijn bij het lezen van het handschrift omdat ze moeite hebben om de horizontale en verticale uitlijning van de tekens te behouden, wat erg belangrijk is bij het maken van rekenkundige bewerkingen en het oplossen van vergelijkingen. Sommige oudere slechtziende leerlingen gebruiken een laptop (particulier bezit of van school) als dat voor hen beschikbaar is, in het bijzonder de vergelijkingeneditor van Word.

4.3.7 Toegang tot diagrammen voor blinde en slechtziende leerlingen

Wiskundige afbeeldingen zijn beschikbaar voor blinde leerlingen in de vorm van typografische afdrukken, op braille- of swellpapier, voorbereid door de leraar of gekocht. De Poolse Vereniging van Blinden verkoopt typografische tekeningen en verzorgt typografische printdiensten. De afbeeldingen kunnen bijvoorbeeld wiskundige functies en diagrammen, statistische grafieken en verschillende doorsneden omvatten. Leerlingen leren figuren, ruimtelijke figuren en functiegrafieken kennen, ook met behulp van speciale tactiele leermiddelen, zoals vaste modellen, 3D-prints van functiegrafieken, platen voor convexe tekeningen met een stylus. De verscheidenheid aan educatieve hulpmiddelen bij het leren van wiskundige grafieken hangt ook af van de inventiviteit en creativiteit van de leraar. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van kurkplaat, touw en spijkers (spelden) voor om verschillende vormen en meetkundige figuren te maken.

Deze technieken zijn ook beschikbaar voor leerlingen die geen braille kennen.

Slechtziende leerlingen leren wiskundige afbeeldingen kennen via een vergrote afdruk of afbeelding. Ze tekenen die in een schrift met behulp van vergrotingsapparatuur.

4.4 ICT ter ondersteuning bij inclusief wiskundeonderwijs in buurlanden

De informatie in dit hoofdstuk over de stand van zaken en de problemen bij de automatisering van inclusief onderwijs in Slowakije, Tsjechië en Duitsland, is verzameld op basis van de beschikbare publicaties.

4.4.1 Tsjechië en Slowakije

In het nationale rapport [56] staat dat er in Tsjechië geen nationale strategie bestaat voor het gebruik van ICT ter ondersteuning van inclusie in reguliere klassen. In Tsjechië zijn algemeen erkende ondersteunende technieken nog niet in brede kring overgenomen. Helaas hebben de meeste leerkrachten voor bijzonder onderwijs het nut van mobiele apparatuur voor SEN(Special Educational Needs) nog niet erkend. Een paar Tsjechische universiteiten heeft speciale centra voor leerlingen met speciale behoeften. Een van de grootste is het Teiresias Centre (officiële naam Support Centre for Students with Special Needs) van de Masaryk

University in Brno. Sinds 2001 is dit centrum belast met het afdrucken van een tactiele versie voor blinden van het landelijke eindexamen middelbare school. Het centrum verstrekt ook de landelijke vergelijkende examens voor leerlingen met een visuele en auditieve handicap, vooral voor degenen die zich voorbereiden op het toelatingsexamen voor de universiteit. De Tsjechische wiskundige notatie is gebaseerd op de Nemeth-code. In 1995 is een voorlopig standaardconcept aanvaard. Het handboek voor de transcriptie van gedrukte tekst naar braille is geschreven op basis van deze standaard. Een deel van de informatie die we hebben verzameld over de stand van zaken en de problemen van automatisering van het inclusieve wiskundeonderwijs in Tsjechië en Slowakije, is opgenomen in het artikel van Wiazowski [57]. De informatie is hoofdzakelijk verkregen via Regec [58], Mendelova, Lecky [59]. Vojtech Regec uit Tsjechië heeft de potentiële obstakels onderzocht in de toegang tot digitale informatie onder leerlingen met visuele beperkingen. Hun bevindingen toonden aan dat de situatie in de loop der jaren aanzienlijk is verbeterd op diverse onderwijsgebieden, waardoor BLV-leerlingen op gelijke voet staan met hun ziende leeftijdsgenoten. Het lijkt er echter op dat wiskunde en andere bèta/technische vakken nog veel aandacht behoeven [59]. Hij heeft zich in het bijzonder gericht op de toegang tot wiskundeonderwijs en de mate van bewustwording bij aanbieders van speciaal onderwijs over de digitale mogelijkheden die er zijn (2014). Ondanks de beschikbaarheid van speciale hulpmiddelen en formaten, en de goed opgeleide ondersteuning aan de Masaryk Universiteit, is slechts ongeveer 30% van de getrainde docenten van visueel gehandicapten in Tsjechië op de hoogte van hoogwaardige en toegankelijke oplossingen voor wiskunde. Hij citeert een van de respondenten die verklaarde dat het niet alleen een gebrek aan informatie is, maar in feite ook onwil om digitale hulpmiddelen te gebruiken. De leerkrachten zouden liever een paar manieren van aanpassingen van de taken uitproberen om de meest uitdagende taken te elimineren. Het betekent dat BLV-leerlingen niet de mogelijkheid hebben om wiskunde te leren op geavanceerd niveau.

Volgens Regec [58] beschikken leerkrachten op Tsjechische scholen over een breed scala aan hulpmiddelen. De Blind Moose editor die is ontwikkeld op de Masaryk University in samenwerking met het Teiresias Centre, bestaat uit een aantal macro's in Word voor het invoeren en bewerken van wiskundige uitdrukkingen in lineair formaat. Deze is toegankelijk voor alle leerlingen, ongeacht hun gezichtsvermogen. Het nadeel van deze oplossing is een gebrek aan interne TeX en MathML converters. Ondanks bepaalde tekortkomingen wordt The Blind Moose door de auteur geprezen vanwege de native implementatie van de Tsjechische braillecode. LAMBDA is een andere conversie-toepassing die leerkrachten tot hun beschikking hebben. Dit instrument is ontwikkeld als onderdeel van een internationaal project. Het acroniem staat voor Linear Access to Mathematic for Braille Device and Audio-synthese. De LAMBDA-code kan op het braillescherm worden weergegeven in achtpuntsbraille en visueel worden vertaald in een standaardnotatie. Af en toe worden MathType en Math Equation Editor in Word gebruikt om werkbladen voor wiskunde samen te stellen.

De meeste Slowaakse slechtziende kinderen (blinden en slechtzienden) gaan naar speciale basisscholen. In de wiskundeles worden brailleboeken met tactiele afbeeldingen gebruikt, elektronische schriften voor het maken van notities, en een mechanische typemachine voor berekeningen. Het nadeel van de typemachine is ten eerste dat de berekeningen te lang duren waardoor de leerlingen gaan hoofdrekennen, en ten tweede is de notatie van de berekeningen te omslachtig waardoor de leerling na een tijdje de weg kwijt is. Er zijn speciale middelbare

scholen voor visueel gehandicapte leerlingen in Slowakije, maar die zijn vooral gericht op muziek, bepaalde ambachten, enz. Als een leerling in contact wil komen met wiskunde, dan moet hij/zij naar een 'normale' middelbare school.

Omdat de leerkrachten op deze scholen niet specifiek getraind zijn op dit gebied, moeten die vaak een 'trial and error'-methode gebruiken om uit te vinden wat de beste manier is om blinde leerlingen samen met ziende leerlingen te onderwijzen. Leerlingen met een visuele handicap hebben ook last van een gebrek aan lesboeken en -materiaal en de beperkte brailnotenatie voor wiskunde.

4.4.2 Duitsland

In Duitsland zijn er aparte scholen (Förderschulen of Sonderschulen) voor leerlingen met matige tot ernstige leerstoornissen, blinde en dove leerlingen en leerlingen met een lichamelijke beperking. Deze praktijk, waardoor ongeveer 430.000 Duitse leerlingen op een speciale, aparte school zitten, is bekritiseerd omdat deze niet voldoet aan door de EU geratificeerde VN-Verdrag voor de rechten van personen met een handicap van 2008 [19]. Daarin wordt aangedrongen op meer inclusief en geïntegreerd onderwijs voor gehandicapte leerlingen. Critici zeggen dat het Duitse speciale onderwijsstelsel tekortschiet omdat het leerlingen met speciale behoeften scheidt van de gewone bevolking, het gehandicapte leerlingen benadeelt en hun integratie in het dagelijks leven verhindert. Dit geldt vooral voor leerlingen met een lichamelijke beperking. Slechts op enkele plaatsen in Duitsland zijn er een paar leerlingen met speciale behoeften geïntegreerd in het reguliere onderwijs.

In Duitsland zijn er problemen als gevolg van het gebruik van diverse brailnotenaties. Afhankelijk van de regio in Duitsland worden de volgende notaties gebruikt: De Marburg-notatie, de Stuttgart wiskundenotatie en de ASCII wiskundenotatie (AMS), ook wel Karlsruhe-notatie genoemd. Zowel op school als op de universiteit wordt een lineaire notatie van formules gebruikt in de taal LaTeX. LaTeX slaat formules en andere tekst op in ASCII's 7-bits tekens, zie Figuur 12. Dit betekent dat zowel ASCII- als LaTeX-formules zwart-wit zijn en duidelijk kunnen worden weergegeven in braille (in één enkel document).

$$x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

`x_{1,2}=-\frac{p}{2}\pm\sqrt{\frac{p^2}{4}-q}`

Figuur 12 Voorbeeld van een formule in LaTeX-notatie

Bron: Eigen werk

Er zijn veel gratis editors voor het creëren van tekst in LaTeX, ook teksten met formules. Er zijn ook converters van LaTeX naar brailnotenatie. De Jaws screenreader leest semantisch in

het Duits de formules die zijn opgeslagen in MathML, en de scripts zetten de invoer van LaTeX om naar MathML.

4.5 Opmerkingen

In Polen is het braillesysteem de norm binnen het onderwijs aan blinde leerlingen. Er bestaat een pool met leerkrachten die bekend zijn met braille en brailleschrift, brailleleerapparaten, brailleboeken en leermiddelen in braille. Het Poolse onderwijssysteem ontbeert systemische oplossingen die:

- de noodzaak onderkennen om te voldoen aan de behoeften van docenten en leerlingen op het gebied van de continue ontwikkeling van nieuwe ICT-ondersteuning
- geen vereisten stellen aan het gebruik van geselecteerde ICT-hulpmiddelen om blinde en slechtziende leerlingen bij te staan bij het leren van wiskunde.

Het probleem betreft ondersteuning met behulp van ICT-instrumenten van blinde leerlingen die braille kennen, die naar speciale scholen gaan en, misschien wel het belangrijkste, blinde leerlingen die naar een gewone school gaan. Een gangbare praktijk op zulke scholen in de omgang met blinde leerlingen tijdens de wiskundeles, is dat ze alleen worden gelaten en, met andere woorden, dat ze worden gemarginaliseerd omdat wiskundeleraars zonder ICT-ondersteuning en zonder braillekennis, niet in staat zijn ze te helpen. Blinde leerlingen in het reguliere onderwijs zijn in de eerste plaats aangewezen op mondelinge overdracht van wiskundige inhoud.

Slechtziende leerlingen die met een gehandicaptenverklaring die in een geïntegreerde klas zitten, bevinden zich in een betere situatie wat betreft de beschikbare faciliteiten op openbare scholen en de voorbereiding van de leerkrachten. Als de visuele handicap niet zo ernstig is, slagen de leerlingen erin om wiskunde te leren met behulp van de apparatuur in de geïntegreerde klas. Anders is ICT-ondersteuning noodzakelijk, bijvoorbeeld techniek ter ondersteuning van blinde leerlingen zoals synthetische spraak. De eerste pogingen om slechtziende leerlingen met een ernstige visuele beperking te ondersteunen met hulpmiddelen die ontwikkeld zijn voor blinde leerlingen, zijn uitgevoerd in het schooljaar 2016/2017, tijdens het proefproject voor de implementatie van de PlatMat-hulpmiddelen op de drie eerder genoemde onderwijsinstellingen. Dit resulteerde in positieve adviezen die zijn bevestigd in schriftelijke aanbevelingen.

Er zijn echter enkele zwakke en onvoltooide functies in PlatMat. Onder andere een grafische editor die beperkingen kende bij het maken van tekeningen en meetkundige taken. Leerlingen klaagden dat sommige functies van de grafische editor niet gebruiksvriendelijk waren, verwarrend en dat het tekenen lang duurde. Zij hebben verbeteringen in de gebruikersinterface voorgesteld en functionele verbeteringen van de grafische editor. Leerkrachten hebben geopperd dat het niet raadzaam is om blinde leerlingen afbeeldingen op een aanraakscherm te laten lezen, omdat leerlingen twee handen gebruiken om afbeeldingen in reliëf te lezen, terwijl de grafische navigatie op het aanraakscherm met één vinger gebeurt. Dit betekent een verschil tussen hoe de leerling in de klas werkt en wat hij gewend is. Naar hun mening vervangt deze tool de eerder gebruikte manier van het lezen van grafieken door blinde leerlingen niet volledig, maar kan het een hulpmiddel zijn bij het

herkennen van wiskundige tekeningen en diagrammen door het gebruik van geluiden, wat ook het gehoor bij het cognitieve proces betreft. Volgens leerlingen vereist het navigeren in meetkundige afbeeldingen verbeteringen op het gebied van audio-informatie, zodat de leerling wordt geholpen bij het oriënteren en lokaliseren van bepaalde onderdelen van de tekening.

Als gevolg van onderzoeksprojecten kan samenvattend worden gezegd dat in Polen, een aanbod is gecreëerd van ICT-instrumenten ter ondersteuning van leerkrachten en blinde en slechtziende leerlingen in het wiskundeonderwijs. Het resultaat is een suite met PlatMat-hulpmiddelen die beschikbaar zijn via het portal www.platmat.pl.

Om de toepassing van ondersteunende ICT-hulpmiddelen in een brede onderwijspraktijk mogelijk te maken, zowel in het reguliere onderwijs als op speciale scholen, moeten de leerkrachten in de eerste plaats worden aangemoedigd door systemische oplossingen. Deze oplossingen zouden de kennis van leerkrachten van IT-hulpmiddelen, erkend met een certificaat, koppelen aan professionele ontwikkeling. Tegelijkertijd zou er een evaluatie van de onderwijsinstellingen nodig zijn wat betreft meer automatisering van het onderwijsproces en het effect daarvan.

5 Conclusie

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de onderwijssituatie op het gebied van wiskunde in de context van blinden en slechtzienden. Nu alle omstandigheden in alle respectievelijke landen zijn geschetst, is het nodig om te bespreken welke kwesties gemeenschappelijk zijn en wat de invloed daarvan is op de ontwikkelingsactiviteiten die worden voorgesteld binnen het EuroMath-project.

Hoewel de problemen zich op verschillende manieren manifesteren, zijn er diverse gemeenschappelijke thema's die de landsgrenzen overschrijden. De onderzoeken die door de drie partners zijn uitgevoerd, hebben informatie opgeleverd die de noodzaak onderstreept van een drastische toename van het aantal blinden en slechtzienden dat wiskunde volgt. Om dit te kunnen doen, moeten zowel vakdocenten als degenen die verantwoordelijk zijn voor de ondersteuning van de leerling bij het leren en het gebruik van ondersteunende technologie, bewust worden gemaakt van het feit dat het voor een blinde of slechtziende leerling haalbaar is om wiskunde te leren. Dit rapport heeft aangetoond dat er in zeldzame gevallen leerlingen zijn die erin geslaagd zijn de vakken af te ronden en hun doelen te bereiken. Deze prestaties moeten worden gebruikt als voorbeeld om leerlingen en docenten te motiveren.

Vanuit technisch oogpunt blijkt uit het onderzoek een aantal zaken dat in aanmerking moeten worden genomen bij de ontwikkeling van hulpmiddelen in het kader van het EuroMath-project. Dit zijn:

- de mogelijkheid voor leerlingen om gemakkelijk te navigeren door vergelijkingen, zonder onnodige cognitieve belasting
- de mogelijkheid voor leerlingen om wiskundige vergelijkingen te bewerken en dus op te lossen
- de mogelijkheid om de materialen zowel digitaal als in hardcopy weer te geven, in geval van braille
- de mogelijkheid voor leerkrachten om snel werkbladen en andere leerobjecten voor te bereiden en efficiënt te verspreiden onder leerlingen
- de mogelijkheid om gegevens uit te wisselen over andere toepassingen die momenteel in andere landen in gebruik zijn.

Het valt buiten het bestek van dit document om diep in te gaan op de technische vereisten van de software, maar de bovenstaande punten kunnen een beknopte set van leidende principes vormen. De productie van driehonderd best practices die ter beschikking van de leerkrachten kunnen worden gesteld, is net zo belangrijk. Dit zal, hopelijk, het vermogen vergroten van deze personen om de wiskundige kennis over te dragen aan leerlingen. Zoals in het openingshoofdstuk al is aangegeven: om EuroMath tot een succes te maken en blinden

en slechtzienden dezelfde onderwijskansen te bieden als hun ziende leeftijdsgenoten, moeten zowel technische als pedagogische uitdagingen worden overwonnen.

6 Referenties

- [1] AsciiMath, "AsciiMath," 2018. [Online]. Available: <http://asciimath.org/>. [Accessed June 2018].
- [2] NASK, „Platmat Portal,” 2018. [Online]. Available: <http://www.platmat.pl:8181/Platmat/index.xhtml>. [Geopend June 2018].
- [3] R. D. Stevens, „Principles for the Design of Auditory Interfaces to Present Complex Information to Blind Computer Users,” 1996.
- [4] K. a. P. A. Rayner, *The Psychology of Reading*, Prentice Hall, 1989.
- [5] A. Karshmer, G. Gupta, E. Pontelli, K. A. N. G. D. Miesenberger, M. Batusic, B. Stöger, B. Palmer en H.-F. Guo, „UMA: a system for universal mathematics accessibility,” in *Proceedings of the 6th international ACM SIGACCESS Conference*, Atlanta GA, 2004.
- [6] D. Gillan, P. Barraz en e. al, „Cognitive Analysis of Equation readings: Application to the development of the MathGenie.,” in *ICCHP*, Paris, France, 2004.
- [7] Childvission, “Braille Production,” [Online]. Available: <https://childvission.ie/site/resources/braille-production/>. [Accessed June 2018].
- [8] National Council for Curriculum and Assessment Department of Education and Skills (NCCSA), “Junior Certificate mathematics syllabus: Foundation, ordinary and higher level,” NCCA/DES., Dublin, 2015.
- [9] National Council for Curriculum and Assessment Department for Education and Skills (NCCSA), “Leaving Certificate mathematics syllabus: Foundation, ordinary, higher level.,” NCCA/DES., Dublin, 2015.
- [10] Department of Education, “Mathematics programmes of study: key stages 1 and 2,” Department of Education, London, 2013.
- [11] Association for Higher Education Access and Disability (AHEAD), “Giving Voice to Blind and Visually Impaired Students Transition Experiences, Addressing Gaps in Policy Provision.,” Association for Higher Education Access and Disability, Dublin, 2015.
- [12] Department of Education, “Mathematics Programs in England: Key Stage Three,” Department of Education, London, 2014.
- [13] G. Douglas, M. McLinden, S. McCall, S. Pavey, J. Ware and A. M. Farrell, “Access to print literacy for children and young people with visual impairment: findings from a

review of literature,” *European Journal of Special Needs Education*, vol. 26, no. 1, pp. 25-38, 2011.

- [14 (SEC), State Examinations Commission, “Reasonable Accommodations at the 2018 Certificate Examinations: Instructions for schools,” State Examinations Commission., Westmeath, 2017.
- [15 Royal National Institute of Blind People (RNIB), “Exam Access for Students with Vision Impairment,” 2018. [Online]. Available: <https://www.rnib.org.uk/insight-online/exam-vision-impairment-access-arrangements-plan-apply>. [Accessed June 2018].
- [16 Association for Higher Education Access and Disability (AHEAD), “Seeing Ahead: A Study of Factors Affecting Blind & Vision Impaired Students Going on to Higher Education,” AHEAD Education Press., Dublin, 2008.
- [17 P. McCarthy and M. Shevlin, “Opportunities and challenges in secondary education for blind/vision-impaired people in the Republic of Ireland,” *Disability & Society*, vol. 32, no. 7, pp. 1007-1026, 2017.
- [18 H. Cahill, C. Linehan, J. McCarthy, G. Bormans and J. Engelen, “Blind and partially sighted students' access to mathematics and computer technology in Ireland and Belgium.,” *Journal of Visual Impairment and Blindness*, no. 90, pp. 105-114, 1996.
- [19 United Nations, “Convention on the Rights of Persons with Disabilities,” United Nations, New York, 2006.
- [20 E. Cliffe, “Accessibility of mathematical resources: the technology gap.,” *MSOR Connections*, vol. 9, no. 4, pp. 37-42, 2009.
- [21 Desmos, “Desmos | Free Math,” [Online]. Available: <https://www.desmos.com/>. [Accessed 10 June 2018].
- [22 DAISY, “Specifications for the Digital Talking Book,” 2012. [Online]. Available: <http://www.daisy.org/z3986/2005/Z3986-2005.html?q=z3986/2005/z3986-2005.html>. [Accessed June 2018].
- [23 International Council on English Braille (ICEB), “Unified English Braille (UEB),” 2018. [Online]. Available: <http://www.iceb.org/ueb.html>. [Accessed June 2018].
- [24 O. D. Morris, C. P. and B. P., Text and Test 3: Project Maths, Dublin: C. J. Fallon.
- [25 F. K. Aldrich and L. Sheppard, “Tactile graphics in school education: perspectives from pupils,” *British Journal of Visual Impairment* 69 - 73., vol. 19, no. 2, 2001.
- [26 (AHEAD)., Association for Higher Education Access and Disability, “Numbers of Students with Disabilities Studying in Higher Education in Ireland 2015/16.,” AHEAD Education Press., Dublin, 2017.

- [27 W. N., "The Dutch school system for dummies - a guide from one parent to another – DutchReview," 3 March 2017. [Online]. Available: <https://dutchreview.com/expat/the-dutch-school-system-a-guide-for-parents-on-dutch-education/>. [Accessed June 2018].
- [28 [Online]. Available: <https://www.lentiz.nl/lentiz-english/home/studying-in-holland/education/compulsory-education>.
- [29 Hanze University of Applied Sciences, "Teacher Education for Primary Schools programme (Pabo)," 2018. [Online]. Available: <https://www.hanze.nl/eng/education/social/school-of-education/organisation/organisation/teacher-education-primary-schools-programme-pabo>. [Accessed June 2018].
- [30 A. v. Leendert, „Visio and Bartimeus - participation in mainstream and special education,” 2018.
- [31 Visio, "Slechtziend of blind en begeleiding op school," 2018. [Online]. Available: <https://www.visio.org/en-gb/onderwijs/begeleiding-in-regulier-onderwijs>. [Accessed 24 April 2018].
- [32 Visio, "School voor blinden en slechtzienden - Koninklijke Visio - Koninklijke Visio," [Online]. Available: <https://www.visio.org/en-gb/onderwijs/soorten-onderwijs/speciaal-basisonderwijs>. [Accessed 24 April 2018].
- [33 Visio;Bartiméus, "Eduvip," 2018. [Online]. Available: <https://www.eduvip.nl/>. [Accessed June 2018].
- [34 V. Education, *Personal communication*, 2016, 13 September.
- [35 D. v. Dijk, *Personal Communication*, 2016, February 12.
- [36 D. v. Dijk, *personal communication*,, 2016, February 12.
- [37 A. v. Leendert, *Pilot study braille display and speech sythesizer - personal file*, 2017, November-December.
- [38 A. v. Leendert, *Visio and Bartimeus - participation in mainstream and special eduction*, 2018.
- [39 "Education and Upbringing in the 2016/2017 School Year," Central Statistical Office, Warsaw, 2017.
- [40 "Education and Upbringing in the 2012/2013 School Year," Central Statistical Office, Warsaw, 2013.

- [41 M. Rubin, M. Faderewski and D. Mikułowski, "Research on the state and needs for
] computerization of mathematical education of blind and low vision students in Poland,"
eMentor, no. 1(58), pp. 34-40, January 2015.
- [42 M. Rubin, "The usefulness of specialized information and communication tools in the
] mathematics education of students with visual dysfunction in the light of survey of
teachers'," *eMentor*, no. 5 (67), pp. 30-35, December 2016.
- [43 M. Rubin, "Report on research concerning needs and IT techniques to meet those
] needs in the area of supporting the blind and low vision students in education and
acquisition of key competences (in mathematics) conducted in 2016-2017," Institute of
Mathematical Machines, Warsaw, 2017.
- [44 "The achievements of students finishing junior high school in 2015. Report from the final
] junior high school exam in 2015," Central Examination Commission, Warsaw, 2015.
- [45 "The achievements of students finishing junior high school in 2016. Report from the final
] junior high school exam in 2016," Central Examination Commission, Warsaw, 2016.
- [46 "The achievements of students finishing junior high school in 2017. Report from the final
] junior high school exam in 2017," Central Examination Commission, Warsaw, 2017.
- [47 "Report from the final high school exam in 2014 Mathematics," Central Examination
] Commission, Warsaw, 2014.
- [48 "Report from the final high school exam in 2015 Mathematics," Central Examination
] Commission, Warsaw, 2015.
- [49 "Report from the final high school exam in 2016 Mathematics," Central Examination
] Commission, Warsaw, 2016.
- [50 "Report from the final high school exam in 2017 Mathematics," Central Examination
] Commission, Warsaw, 2017.
- [51 "Education and Upbringing in the 2013/2014 School Year," Central Statistical Office,
] Warsaw, 2014.
- [52 "Education and Upbringing in the 2014/2015 School Year," Central Statistical Office,
] Warsaw, 2015.
- [53 "Education and Upbringing in the 2015/2016 School Year," Central Statistical Office,
] Warsaw, 2016.
- [54 J. Świerczek, Braille mathematical, physical and chemical notation, Krakow, Laski,
] Łódź, 2011.
- [55 H. Epheser, International Braille Mathematical Notation, Warsaw: The Head Office of
] the Polish Association of the Blind, 1967.

- [56 "Czech Republic Country Report on ICT in Education 2015," [Online]. Available:
] <http://www.eun.org/documents/411753/828792/Country+Report+Czech+Republic++2015.pdf/a8d6e01d-8962-418c-bc5f-6cada843f043>. [Accessed 30 May 2018].
- [57 J. Wiazowski, "Sight, touch, hearing - the current options and challenges in access to
] math content for learners with visual impairments," in *Forum Pedagogiczne, UKSW*,
Warsaw, 2018.
- [58 V. Regec, "Digital Barriers In Educating Students With Visual Impairment," in *Procedia -
] Social and Behavioral Sciences*, 2016.
- [59 E. Mendelová and P. Lecký, "Accessible Learning Resources for Blind Students,"
] *Niektoré technologické inovácie v špeciálnej pedagogike. Levoča: Matej Hrebenda
Slovak Library for the Blind in Levoča*, vol. 38, no. 7, pp. 54-65, 2008.
- [60 A. Karshmer en D. Farsi, „Access to Mathematics by Blind Students: A Global
] Problem,," in *In Proceedings of the WMSCI 2007 Conference*,, Orlando, Florida., 2007.
- [61 "Information on the results of the DIGITATION OF SCHOOLS control," Supreme Audit
] Office, Warsaw, 2017.
- [62 Project Maths Implementation Support Group, "Report of the Project Maths
] Implementation Support Group," Department of Education and Skills, Dublin, 2010.
- [63 (NCCA), National Council for Curriculum and Assessment, "REVIEW OF
] MATHEMATICS IN POST-PRIMARY EDUCATION a discussion paper," Department of
Education & Skills., Dublin, 2005.
- [64 N. A., "Mathspeak Grammar Rules," 2004. [Online]. Available: [http://www.gh-
\] mathspeak.com/examples/grammar-rules/](http://www.gh-mathspeak.com/examples/grammar-rules/).
- [65 E. Bates and D. Fitzpatrick, "Spoken Mathematics using Prosody, Earcons and
] Spearcons,," in *Proceedings of ICCHP, the 12th International Conference on
Computers Helping People with Special Needs*, Vienna, Austria., 2010.
- [66 K. Bidziński, "Presenting opinions of teachers of students with special educational
] needs about information and communication technologies as a potential tool for gaining
professional support," *Dzieci i młodzież ze specjalnymi potrzebami edukacyjnymi w
przestrzeni informacyjnej*, pp. 199-214, 2016.
- [67 D. Fitzpatrick, "Mathematics: how and what to speak," in *Proceedings of ICCHP,
] International Conference on Computers Helping People with Special Needs*,, Linz,
Austria, 2006.
- [68 D. Gillan, P. Barraz and e. al, "Cognitive Analysis of Equation readings: Application to
] the development of the MathGenie.," in *ICCHP*, Paris, France, 2004.

- [69 A. Karshmer, G. Gupta, E. Pontelli, K. A. N. G. D. Miesenberger, M. Batusic, B. Stöger,
] B. Palmer and H.-F. Guo, "UMA: a system for universal mathematics accessibility," in
Proceedings of the 6th international ACM SIGACCESS Conference, Atlanta GA, 2004.
- [70 P. McCarthy, "The Educational Experiences and Transition Choices/Opportunities of
] Blind/Vision Impaired People in the Republic of Ireland.," Trinity College University of
Dublin, Dublin, 2013.
- [71 M. Paplińska, "On technological support for blind and low vision students in the opinions
] of teachers," in *Typhlo-pedagogy versus contemporary needs to support the
development, rehabilitation and social activation*, Warsaw, Akademia Pedagogiki
Specjalnej, 2017, pp. 114-132.
- [72 T. V. Raman, "Audio Systems for Technical Reading. PhD Thesis,," Ny, USA, 1994.
]
- [73 K. a. P. A. Rayner, *The Psychology of Reading*, Prentice Hall, 1989.
]
- [74 E. Śmiechowska-Petrovskij, "Integrowanie technologii i technik brajlowskich w edukacji
] uczniów z niepełnosprawnością wzroku," in *Pismo Braille'a. Z tradycją w
nowoczesność*, Warsaw, Fundacja Polskich Niewidomych i Słabowidzących TRAKT,
2016, pp. 101-125.
- [75 R. D. Stevens, "Principles for the Design of Auditory Interfaces to Present Complex
] Information to Blind Computer Users," 1996.