



Dino Capovilla



Markus Gebhardt

Assistive Technologien für Menschen mit Sehschädigung im inklusiven Unterricht

Zusammenfassung

In der laufenden Diskussion über die Umsetzung eines inklusiven Bildungssystems finden die Erforschung und Umsetzung der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) im Unterricht aktuell noch wenig Beachtung. Für viele Menschen mit Behinderung ist die Verwendung von IKT im Unterricht notwendig. Zwar gibt es ein Wissen über ideale Arbeitsplatzausstattung für Menschen mit Sehschädigung, jedoch fehlt das Wissen über IKT und deren Einsatz im Unterricht bei den Lehrkräften. Aus diesem Grund möchte der Artikel die aktuell gängigen Methoden der IKT für den Einsatz im inklusiven Unterricht vorstellen und Vor- und Nachteile diskutieren.

Möglichkeiten durch die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) im inklusiven Unterricht

Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), wie beispielsweise die Telekommunikation oder das Internet, verändern unsere Interaktionsformen und auch unser gesellschaftliches Selbstverständnis. Insbesondere in letzten Jahrzehnten haben auch Menschen mit Behinderung von dieser Entwicklung profitiert (Miesenberger, 2015). So war es beispielsweise Menschen mit Sehschädigung bis vor einiger Zeit nicht möglich, allgemein zugängliche Texte selbstständig zu lesen oder zu schreiben. Heute hingegen ist dies für Menschen mit vergleichbaren Behinderungen unter Verwendung von IKT prinzipiell möglich. Dies geht soweit, dass Menschen mit Behinderung nun weitgehend unabhängig auch an Hochschulen studieren können (Francioni, 2002; Petz & Miesenberger, 2012; Mulloy, Gevarter, Hopkins, Sutherland & Ramdoss, 2014).

In der laufenden Diskussion über die Umsetzung eines inklusiven Bildungssystems finden die Erforschung und Umsetzung der IKT im Unterricht noch wenig Beachtung. Dies ist insofern bemerkenswert, da für viele Menschen mit Behinderung die Verwendung von IKT im Unterricht notwendig ist. Insbesondere Menschen mit Sehschädigung können erst mit dem Einsatz der IKT voll umfänglich im Unterricht partizipieren. Viele blinde und hochgradig sehbehinderte Menschen sind ohne technische Hilfsmittel nicht in der Lage, herkömmliche Lehrbücher, Arbeitsblätter, Zeitungen, Lexika oder andere Printmedien eigenständig und zielführend zu nutzen. Printmedien müssten im inklusiven Unterricht ohne IKT bereits im Vorfeld in die Brailleschrift übersetzt oder aufgesprochen werden. Auch bei Tafel- oder Projektionsbildern müssten die Informationen vor dem Unterricht gleichwertig in zugänglicher Form aufbereitet werden. Dadurch sind spontane Veränderungen im Tafel- oder Overheadanschrieb nur bedingt möglich.

Neben der Informationsaufnahme kann auch die Informationswiedergabe beeinträchtigt sein. Bei vielen blinden und hochgradig sehbehinderten Kindern und Jugendlichen verliert die Handschrift ihren Zweck, da aufgrund des unzureichenden Schriftbilds oder aufgrund der notwendigen Skalierung die Unterlagen unleserlich oder unhandlich werden. Auch die Verwendung der Brailleschrift als alternatives Repräsentationsmedium ist nur begrenzt sinnvoll, da von Lehrkräften der allgemeinen Schule nicht erwartet werden kann, dass sie diese behinderungsspezifische Kommunikationsform im ausreichenden Maße beherrschen. Lösungsansätze mit speziel-

len Zeichensätzen der Brailleschrift für mathematische und chemische Formeln (Kalina, 2010) würden im inklusiven Unterricht vermutlich nicht nur den Lehrkräften der allgemeinen Schule sondern auch den Kindern und Jugendlichen mit Sehschädigung selbst Schwierigkeiten bereiten. Durch diese speziellen Zeichensätze entsteht in Kombination mit dem Unterrichtsinhalt ein weiteres zusätzliches Lernfeld für die betroffenen Schüler.

Anhand der beschriebenen Problematiken ist ein inklusiver Unterricht ohne den Einsatz der IKT schwierig. Im Sinne der Inklusion ließe sich diese Problematik auch nicht durch eine Inklusionsfachkraft lösen, die zwischen der behinderungsspezifischen und allgemein verständlichen Kommunikationsform vermittelt. Da diese Vermittlung im laufenden Unterricht geschehen müsste, besteht die Gefahr, dass durch die enge und mehr oder weniger durchgehende Assistenz eine klasseninterne Segregation entstehen könnte. So kann eine ständige Anwesenheit einer Assistenz die soziale Inklusion maßgeblich behindern (Rodney, 2011; Böing, 2013). Durch den Einsatz geeigneter IKT und der entsprechenden behinderungsspezifischen Arbeitstechniken kann es gelingen, Zugänglichkeitsprobleme zum Unterrichtsinhalt deutlich abzuschwächen, sodass sich der Bedarf nach einer persönlichen Assistenz reduziert.

Assistive Technologie und Universal Design

Die Verbesserung der konkreten Lebensumstände von Menschen mit Behinderung ist eng mit dem technischen Fortschritt verbunden. Der Beginn des systematischen Einsatzes von Technik zur Kompensation behinderungsspezifischer Nachteile fällt mit dem Ende des zweiten Weltkriegs zusammen. Durch die Kriegshandlungen ist die Zahl der Menschen mit Behinderung stark gestiegen. Dadurch sind in den USA, Europa und Japan Bewegungen entstanden, die das Ziel hatten, die schwierigen Lebensumstände der Betroffenen zu verbessern (Moore, 2007). Die eingesetzten Techniken orientierten sich an den Bedürfnissen der Menschen mit Behinderung. Durch prothetische und orthopädische Hilfsmittel sollten die Folgen beeinträchtigter Körper- und Sinnesfunktionen kompensiert werden (Story, Mueller & Mace, 1998). Im deutschen Sprachraum setzte sich für diese Technik der Begriff Rehabilitationstechnik durch, während sich im englischen Sprachraum der Begriff Assistive Technologien (AT) verbreitete (Story, Mueller & Mace, 1998). Assistive Technologien werden definiert als für den persönlichen Gebrauch entwickelte technische Hilfsmittel. Sie sollen die physischen, sensorischen oder kognitiven Fähigkeiten von Menschen mit Behinderung dahingehend stärken, dass die Betroffenen in unterschiedlichen Umgebungen mehr Unabhängigkeit gewinnen und ihre behinderungsspezifischen Eigenarten in den Hintergrund rücken.

Demgegenüber steht eine zweite große Bewegung, die in den 1950er Jahren entstand und auf die der Begriff Barrierefreiheit zurückgeht. Die Bewegung, die sich anfangs auf den Abbau architektonischer Barrieren konzentrierte (ebd.), wurde in den 1980er Jahren unter der Federführung des amerikanischen Architekten Ron Mace zur Bewegung für ein Universal Design weiterentwickelt (ebd., S. 19). Mace definierte „Universal Design“ als die Gestaltung von Produkten und Lebensräumen, die von einer möglichst großen Zahl von Menschen jeden Alters und unterschiedlicher Fähigkeiten benutzbar sind (ebd., S. 11). Während also Universal Design nach einer Gesellschaft strebt, die allen Menschen unabhängig von ihren subjektiven Voraussetzungen offen steht, wird mit Assistiven Technologien versucht, die subjektiven Voraussetzungen von Menschen so zu verändern, dass sie sich autonom und selbstbewusst in eine nicht notwendigerweise behindertengerechte Gesellschaft einbringen können. Da das Ideal „Universal design“ praktisch nicht vollständig erreicht werden kann (ebd., S. 11), wird es auch weiterhin Assistive Technologien geben müssen, um subjektive, nicht verallgemeinerbare Aufgaben, denen sich Menschen mit Behinderung stellen müssen, lösen zu können.

Inklusiver Unterricht und Assistive Technologien

Das Gelingen des schulischen Inklusionsprozesses hängt nicht nur von der verfügbaren IKT, sondern von einer ganzen Reihe zusätzlicher Faktoren ab. Ein erstes Problem ist die extreme Bandbreite unterschiedlicher Beeinträchtigungen und die potentielle Variabilität der subjektiven

Bedürfnisse (Mulloy et al., 2014). Das Sehvermögen kann sich beispielsweise physiologisch oder psychisch induziert im Verlauf der Schulzeit verbessern oder verschlechtern. Der schulische Fortschritt oder die zunehmende Sicherheit im Umgang mit einzelnen Assistiven Technologien kann die Voraussetzungen und die damit verbundenen Bedürfnisse verändern. Abgesehen von diesen intrapersonellen Faktoren werden die subjektiven Bedürfnisse auch von äußeren Einflüssen bestimmt. Die Art der benötigten Assistiven Technologie wird auch durch den Lernstoff, die Unterrichtsmethoden und damit durch die Jahrgangsstufe mitbestimmt. Der Grad des Gelingens der sozialen Inklusion im familiären oder schulischen Umfeld kann den technischen Assistenzbedarf der Kinder und Jugendlichen mit Sehschädigung beeinflussen. Kinder und Jugendliche, die als Teil der Klassengemeinschaft anerkannt und respektiert werden, können vermutlich mehr behinderungsbedingte Nachteile durch das Umfeld ausgleichen, während die anderen in mehr Fällen auf Assistive Technologien angewiesen sind. Entscheidend ist, dass die Kinder und Jugendlichen die Assistiven Technologien zweckmäßig einsetzen können und die entsprechenden behinderungsspezifischen Techniken erlernt haben und beherrschen (Hofer, 2008).

Assistive Technologien

Mittlerweile gibt es zahlreiche Möglichkeiten der Assistiven Technologie für den Unterricht von Kindern und Jugendlichen mit Sehschädigung. Nachfolgend werden die häufigsten Formen der Assistiven Technologie näher beschrieben.

Screen Reader Technologie

Während anfänglich Assistive Technologien in der Regel isolierte und speziell für Menschen mit Behinderung entwickelte Hilfsmittel waren (z. B. Prothesen, Blindenschriftschreibmaschinen, Farberkennungsgeräte), wird in den letzten Jahrzehnten im Sinne des Universal Designs vorwiegend versucht, handelsübliche Produkte durch Assistive Technologien dahingehend zu erweitern, dass diese für Menschen mit Behinderung nutzbar werden. Ursächlich für diese Entwicklung ist vor allem der Wunsch der Menschen mit Sehschädigung selbst, die die gleiche Hard- und Software wie Menschen ohne Behinderung verwenden möchten (Shinohara & Wobbrock, 2011). Dieser Wunsch erscheint durchaus nachvollziehbar: Die Verwendung von handelsüblicher Hard- und Software kann Stigmatisierung reduzieren (Böing, 2013; Capovilla & Hubwieser, 2013; Hofer, 2008) und unterstützt damit ganz konkret die gesellschaftliche Teilhabe.

In diesem Entwicklungsprozess hat sich mittlerweile die Screen Reader Technologie als stabiler und ausgereifter Standard herausgebildet (Miesenberger, 2015). Dies war vor allem deshalb möglich, da sich die grundlegenden Interaktionskonzepte in den letzten Jahrzehnten unwesentlich verändert haben (ebd.). Diese grundlegenden Interaktionskonzepte sind Fenster, Icons, Menüs und Zeiger (Müller-Prove, 2002). Sie werden auf einem virtuellen Desktop angeordnet und mit einem Zeigewerkzeug durch unterschiedliche Operationen (Point & Click, Drag & Drop etc.) angesteuert (Miesenberger, 2015). Für dieses Steuerungskonzept hat sich der Begriff grafische Benutzeroberfläche etabliert. Deren Bedeutung zeigt sich darin, dass es mittlerweile so gut wie keine Geräte mehr gibt, die nicht darauf aufbauen.

Der Erfolg der grafischen Benutzeroberfläche begründet sich dabei zum einen durch die intuitive Benutzerführung und die damit verbundene Maussteuerung (Capovilla & Hubwieser, 2013) und zum anderen durch die klare Standardisierung der Bedienelemente (Miesenberger, 2015). Für Menschen mit Sehschädigung entfallen die Vorteile der intuitiven Benutzerführung und der Maussteuerung, während die weitgehende Standardisierung der Interaktionskonzepte die Entwicklung wiederverwertbarer alternativer Steuerungsstrategien ermöglicht. Die entscheidende Schwierigkeit für Menschen mit Sehschädigung besteht darin, dass ein maßgeblich visuell orientiertes System soweit abstrahiert werden muss, dass die enthaltenen Konzepte unabhängig von der konkreten Ausgestaltung am Bildschirm verstanden werden können. Ausgehend von diesem Verständnis müssen alternative, in der Regel nicht intuitive, Steuerungsstrategien erlernt werden.

Ein Screen Reader wird auf einem handelsüblichen Computer oder einem Standardmobiltelefon installiert. Die wesentliche Aufgabe des Screen Readers besteht darin, den mehrdimensionalen Bildschirminhalt dahingehend zu vereinfachen, dass er mithilfe einer Sprachausgabe oder einer Braillezeile ausgelesen werden kann. Dies ist in der Regel nur dann möglich, wenn die Informationen in linearer Form als einfacher Text angeordnet sind. Die entscheidende Aufgabe des Screen Readers besteht also entgegen der suggestiven Bezeichnung nicht darin, den Bildschirminhalt vorzulesen, sondern den Bildschirminhalt auf die notwendigen und relevanten Informationen zu reduzieren und für die Weiterverarbeitung aufzubereiten.

Inzwischen gibt es eine ganze Reihe kommerzieller und freier Screen Reader, die für unterschiedliche Plattformen auf stationären oder mobilen Geräten angeboten werden. In den letzten Jahren haben zudem die meisten großen Hersteller von mobilen Endgeräten begonnen, eigene Screen Reader als feste Bestandteile ihres Betriebssystems zu integrieren (Brady et al, 2013).

Dateneingabe

Bei der Dateneingabe kann zwischen der Eingabe konkreter Daten, die verarbeitet werden sollen, und Steuerungsanweisungen, durch welche bestimmt wird, was mit den konkreten Daten geschieht, unterschieden werden. Diese beiden Eingabekonzepte unterscheiden sich grundlegend.

Texteingabe

Nach wie vor scheint die Tastatur die effizienteste Möglichkeit zu sein, konkrete Daten einzugeben. Im Unterschied zu Menschen ohne Sehschädigung müssen jedoch Menschen mit Sehschädigung das 10-Finger-System zuverlässig beherrschen, da eine visuelle Unterstützung des Eingabeprozesses gar nicht oder nur unter erheblichem Zeitverlust möglich ist. Alternativen wie die akustische Spracheingabe mit anschließender Spracherkennung stoßen bei Menschen mit Sehschädigung an die gleichen Grenzen wie bei Menschen ohne Sehschädigung. Auf mobilen Endgeräten verschärft sich das Problem der Texteingabe für Menschen mit Sehschädigung, da in der Regel keine Tastatur zur Verfügung steht. Bei der Texteingabe über den Touchscreen wird der Finger auf die Tastatur gelegt, die auf dem Touchscreen abgebildet wird. Während der Touchscreen berührt wird, sagt der Screen Reader den unter dem Finger liegenden Buchstaben wiederholt an. Der Finger wird nun so lange verschoben, bis der richtige Buchstabe durch das akustische Feedback gefunden wird. Durch das Abheben des Fingers, wird der Buchstabe geschrieben. Dieses Verfahren ist recht zeitaufwändig und mühsam. Effiziente Texteingabe ohne den Touchscreen zu sehen, bleibt bis auf weiteres problematisch (Azenkot, 2013).

Steuerungseingaben

Steuerungseingaben werden von Menschen mit Sehschädigung häufig mit Tastenkombinationen durchgeführt, während die Mehrzahl der Menschen ohne Behinderung die Maus verwendet. Daher ist es ein großer Vorteil, dass inzwischen die meisten Betriebssysteme und viele Anwendungsprogramme über ergänzende tastenbasierte Steuerungskonzepte verfügen. In der Regel sind diese aber nicht vollständig. Mit ergänzenden Tastenkombinationen und einer tastaturbasierten Maussteuerung des Screen Readers wird versucht, die Funktionalität möglichst vollständig herzustellen.

Spezielle Tastenkombinationen des Screen Readers werden beispielsweise verwendet, um Texte auf bestimmte Art und Weise vorzulesen oder Worte buchstabieren zu lassen. Bei der tastenbasierten Maussteuerung wird nach der Aktivierung der Mauszeiger mit den Pfeiltasten über den Bildschirm bewegt, während die Bezeichnungen der darunterliegenden Objekte vorgelesen werden. Die linke und rechte Maustaste werden auf der Tastatur beispielsweise durch die + und – Tasten auf dem Nummernblock repräsentiert. Dadurch ist prinzipiell auch Drag & Drop möglich. Einige Screen Reader bieten die Möglichkeit, eigene Steuerungsabläufe (Skripte) zu speichern und beispielsweise über eine Tastenkombination verfügbar zu machen. Der Vorteil solcher Skripte besteht darin, dass auch eine Software zugänglich gemacht werden kann, die

aufgrund der geringen Verbreitung nicht aktiv vom Screen Reader unterstützt wird. Dies kann beispielsweise in der Schule von Bedeutung sein, wenn eine spezielle Lernsoftware verwendet werden soll, die nicht ohne weiteres zugänglich ist.

Mobile Endgeräte verfügen in der Regel über keine Tastatur und seit der Einführung von Smartphones und Tablet-PCs wurden auch Nummernblöcke auf mobilen Endgeräten verdrängt. Dies erscheint besonders für Menschen mit Sehschädigung problematisch, da ohne festes Tastenkonzept auch wesentliche Referenzpunkte entfallen. Eine Alternative zur Tastatur ist die in den meisten mobilen Endgeräten bereits eingebaute Sprachsteuerung. Problematisch an der Sprachsteuerung ist jedoch, dass sie in der Regel nur ergänzend wirkt und eben keine vollständige Steuerung zulässt. Als ergänzendes Steuerungskonzept wird sie von Menschen mit Sehschädigung dennoch durchschnittlich häufiger verwendet, als von Menschen ohne Sehschädigung (Azenkot, 2013).

Mittlerweise scheint sich die Multi-Touch-Technologie als zentrales Steuerungskonzept, das von Menschen mit Sehschädigung angewandt wird, durchgesetzt zu haben. Bei der Multi-Touch-Technologie werden bestimmte Wischbewegungen und Berührungsfolgen festgelegt und mit Funktionen verbunden. Von entscheidendem Vorteil ist dabei, dass sich, abgesehen von Texteingaben, die Bedienung von mobilen Endgeräten im Wesentlichen auf die hierarchische Menüsteuerung reduzieren lässt (Kane, Bigham & Wobbrock, 2008).

Eine solche hierarchische Menüsteuerung könnte beispielsweise folgendermaßen aufgebaut sein: In Menüs wird durch Wischen mit einem Finger nach oben und unten navigiert, während die Menüeinträge vorgelesen werden. Durch ein Wischen nach rechts wird das entsprechende Untermenü geöffnet, während ein Wischen nach links das Untermenü schließt und in der Hierarchie entsprechend zurück springt. Ein Menüpunkt könnte durch die Berührung mit einem zweiten Finger ausgewählt werden und das objektbezogene Kontextmenü durch kleine kreisende Wischbewegungen geöffnet werden.

Datenausgabe

Bei der Datenausgabe für Menschen mit Sehschädigung muss in der Regel ein durch den Screen Reader auf einfachen Text reduzierter Bildschirminhalt akustisch oder taktil ausgegeben werden.

Akustisch wird dies mit einer Sprachausgabe umgesetzt. Sprachausgaben verwenden Sprachen unterschiedlicher Qualität. Die Wahl der Sprache hängt von subjektiven Bedürfnissen und Wünschen ab. Während bei einem gut geschriebenen Roman vermutlich eher auf den natürlichen Klang der Stimme Wert gelegt wird, kann es bei einer ausschweifenden Einführung in die Betriebswirtschaftslehre wichtiger sein, dass die Stimme trotz sehr hoher Sprechgeschwindigkeit verständlich bleibt.

Neben der Sprachausgabe kann auch die Brailleschrift für die Datenausgabe verwendet werden. Braille ist eine taktile Schrift, bei der Buchstaben durch Kombinationen von tastbaren Punkten repräsentiert werden. Eine Braillezeile dient nun dazu, die aufbereiteten Daten des Screen Readers in Braille auszugeben. Braillezeilen bestehen in der Regel aus 20 bis 80 Modulen in denen jeweils 8 Stifte angeordnet sind (8-Punkt-Braille). Die Stifte werden abhängig vom Buchstaben durch eine elektrische Spannung (piezoelektrischer Effekt) angehoben, wodurch die tastbaren Buchstaben entstehen.

Der Vollständigkeit halber sei hier noch auf grafische taktile Displays verwiesen, mit denen sich Grafiken ausgeben lassen. Über eine Matrix von Stiften (z. B. 24 x 16), die z. B. abhängig von der Farbe des registrierten Bilds angehoben werden, tritt das entsprechende Muster hervor und wird tastbar (Taras, 2011). Der entscheidende Nachteil dieser Displays ist der exorbitante Preis.

Sprachausgabe und Braillezeile haben unterschiedliche Vor- und Nachteile. Ein maßgeblicher Vorteil der Sprachausgabe ist das Erreichen einer relativ hohen Lesegeschwindigkeit. Die durchschnittliche Lesegeschwindigkeit geübter Jugendlicher und junger Erwachsener beträgt etwa 200 bis 350 Wörter pro Minute (Denninghaus, 1996). Geübte früherblindete Leserinnen und Leser von Braille erreichten 100 bis 150 Wörter in der gleichen Zeit, während hochgradig sehbehinderte Leserinnen und Leser in Schwarzschrift, eine Geschwindigkeit von gerademal zwischen 40 und 80 Wörtern pro Minute erreichen (Denninghaus, 1996). Prinzipiell lässt sich mit einer Sprachausgabe problemlos die Lesegeschwindigkeit von Menschen ohne Sehschädigung erreichen. Dies ist im Bildungskontext insbesondere dann von Vorteil, wenn lange Texte mit wenig Inhalt gelesen werden sollen, die von Menschen ohne Sehschädigung in der Regel bloß überflogen werden.

Ein maßgeblicher Vorteil der Braillezeile besteht in der Stärkung der orthographischen und grammatikalischen Kompetenz, die bei ausschließlicher Verwendung einer Sprachausgabe möglicherweise nicht ausreichend ausgebildet und gefördert wird. Zwar gibt es inzwischen ausgereifte Textverarbeitungssysteme, die Standardverfahren zum Auffinden von Fehlern anbieten (Rechtschreib- und Grammatikprüfung) und mit Screen Readern abgestimmt sind (Microsoft, 2013), ob diese Funktionen aber tatsächlich ausreichen, um einen fehlerfreien Text zu produzieren, bleibt zweifelhaft. Auf der anderen Seite eignet sich die Sprachausgabe besonders gut, um Buchstabendreher oder Satzstellungsfehler zu finden (Mulloy et al., 2014). Denn die Sprachausgabe liest alle Buchstaben sequentiell vor und kann im Unterschied zum Menschen nicht interpolieren.

Eine dritte Art der Datenausgabe kann durch die Verwendung einer Vergrößerungssoftware erreicht werden. Sie vergrößert auf unterschiedliche Arten bestimmte Ausschnitte des Bildschirms (Kalina, 2010). Somit kann alles vergrößert werden, was auf dem Bildschirm abgebildet werden kann (Texte, gescannte Texte, Fotos, Computerspiele, Webcam-Bilder etc.). Im Unterschied zu klassischen Eingabehilfen herkömmlicher Betriebssysteme (z. B. Bildschirmlupe) bieten kommerzielle Vergrößerungssoftwares produktabhängig z. B. deutlich höhere Vergrößerungsfaktoren, Kantenglättung, Farbinvertierung, eine Vorlesefunktion (ebd.) und ein besseres Fokustracking (Verschiebung des Vergrößerungsfensters zum Mauszeiger oder zur Eingabeaufforderung).

Ein maßgeblicher Vorteil der Braillezeile besteht in der Stärkung der orthographischen und grammatikalischen Kompetenz, die bei ausschließlicher Verwendung einer Sprachausgabe möglicherweise nicht ausreichend ausgebildet und gefördert wird.

Vergrößerung und Projektion

Das Sehvermögen bestimmt sich aus unterschiedlichen Faktoren (Weltgesundheitsorganisation WHO, 2001/2005) wie z. B. Sehschärfe, Gesichtsfeld, Lichtempfindlichkeit und Farbsehen. Maßgebliches gesetzliches Kriterium in Deutschland ist der Fernvisus, über den primär eine Sehschädigung zugeschrieben wird. Der Fernvisus ist die durch Sehhilfen (Brillen oder Kontaktlinsen) korrigierte maximale Sehschärfe für die Ferne, die mit dem besseren der beiden Augen erzielt wird (Degenhardt, 2007). Der Fernvisus wird durch das Ablesen von Zeichen- oder Symbolfolgen in unterschiedlicher Größe über einen normierten Abstand gemessen. Er wird also an der Grenze zwischen dem gerade noch Erkennbaren und dem nicht mehr Erkennbaren gemessen.

Auch wenn dieses Konzept der Messung der Komplexität der Beeinträchtigungen des Sehens nicht gerecht wird, lässt sich nicht leugnen, dass die Sehschärfe, zumindest im Unterricht, eine sehr zentrale Rolle spielt. Das Erkennen von Objekten und Lesen von Schrift in der Nähe und der Ferne hängt maßgeblich von der erzielten Sehschärfe ab, wie bereits das gesetzliche Messverfahren zeigt. Demnach kann es bei unzureichender Sehschärfe sinnvoll sein, das zu betrachtende Objekt selbst zu vergrößern, oder eine Vergrößerung des unveränderten Ausgangsobjekts durch bestimmte Assistive Technologien zu erreichen.

Ein einfaches Beispiel für die Objektvergrößerung ist der Großdruck. Dabei wird der Schriftgrad eines Dokuments in der Regel auf 18 Punkte (American Foundation for the Blind, 2013) angehoben. Eine weitere Möglichkeit ist die Vergrößerung des Leseguts mithilfe eines Kopierers (z. B. von DIN-A4 auf DIN-A3). Außerdem kann versucht werden, die Schriftgröße an der Tafel oder am Projektor zu erhöhen.

Obwohl vor allem der Großdruck tatsächlich zu einer deutlichen Erhöhung der Lesegeschwindigkeit von Menschen mit Sehschädigung führt (Lueck, Bailey, Greer, Tuan, Bailey & Dornbusch, 2003; Lovie-Kitchin, Bevanm & Hein, 2001), stoßen diese Maßnahmen dennoch schnell an ihre Grenzen. Dies liegt vor allem an den begrenzten Möglichkeiten zur Vergrößerung, da offenbar abhängig von der Sehbehinderung unterschiedliche Vergrößerungsgrade benötigt werden. Mit zunehmendem Vergrößerungsfaktor werden zusätzliche Kopf- und Augenbewegungen notwendig, durch die die Lesegeschwindigkeit wieder deutlich abnimmt (Lueck et al., 2003). Objektvergrößerungen haben für einige Menschen mit Sehbehinderung Vorteile, sind aber sicher kein allumfassendes Lösungskonzept. Alternativ zur Objektvergrößerung können Assistive Technologien verwendet werden, die das Ausgangsobjekt unverändert lassen und die Vergrößerung optisch oder elektronisch erreichen. Da das Lesegut in Größe, Kontrast, Farbschema etc. an die subjektiven Bedürfnisse angepasst werden kann, schneidet die Vergrößerung durch Assistive Technologien im Vergleich zur Objektvergrößerung, insbesondere im Textverständnis beim Lesen, besser ab (Farmer & Morse, 2007).

Optische Vergrößerung

Im einfachsten Fall kann die Vergrößerung optisch erreicht werden. Für Entfernungen unter einer Armlänge können z. B. Standlupen, die über eine Haltevorrichtung in stabiler Lage gehalten werden, Handlupen oder Lupenbrillen verwendet werden (Mulloy et al., 2014). Häufig werden Vergrößerungsfaktoren zwischen 6 und 10 verwendet. In der Ferne können Monokulare oder Binokulare verwendet werden. Vor allem Handlupen und Lupenbrillen haben den Vorteil, dass Sie überall und verhältnismäßig unauffällig eingesetzt werden können. Durch Lupenbrillen wird es z. B. möglich, ein ganz normales Buch am Strand oder auf der Gartenbank zu lesen. Ein Nachteil ist, dass optische Vergrößerungssysteme Fehlhaltungen provozieren können. Ebenso erfordern diese Geräte auch Übung, da z. B. die Zeile gehalten oder die Informationen des zweiten Auges beim monokularen Lesen mit der Lupenbrille ignoriert werden muss. Zudem ist die optische Vergrößerung technisch limitiert, da sich mit zunehmendem Vergrößerungsfaktor der Abstand zwischen Auge und Lesegut verkleinert.

Elektronische Vergrößerung

Bei elektronischen Sehhilfen kann zwischen Standgeräten, Handkameras und batteriebetriebenen mobilen Geräten unterschieden werden. Bei Standgeräten ist die Kamera modellabhängig ca. 20 cm über einem Kreuztisch zur Bewegung des Leseguts und unter einem Bildschirm fixiert. Neben dem Lesen von Texten eignen sich Standgeräte beispielsweise auch für Tätigkeiten wie das Schneiden der Fingernägel. Handkameras sind in der Regel über ein Kabel mit einem Notebook verbunden, begrenzt mobil und eignen sich auch zum Vergrößern von Dingen, die nicht unter ein Standgerät passen (Kochrezepte auf Verpackungen, Beschriftungen auf Staubsaugern, Globen etc.). Bei mobilen Geräten ist die Kamera in der Regel direkt mit dem Display verbunden, über welches das vergrößerte Objekt ausgegeben wird. Eigenständige mobile elektronische Vergrößerungssysteme haben inzwischen an Bedeutung stark verloren, da sie durch Smartphones und Tablet-PCs verdrängt werden. Für die Ferne gibt es Tafellessysteme, die mit einem Notebook verbunden und per Hand oder z. B. über einen Joystick gesteuert werden können.

Ein spannender neuerer Ansatz sind interaktive Whiteboards (Illinois State University, 2012). Dabei wird das Bild des interaktiven Whiteboards in Echtzeit über eine kabellose Verbindung an einen Tablet Computer übertragen, wo es durch Standardfunktionen und zusätzliche Apps entsprechend der subjektiven Bedürfnisse angepasst werden kann. Die Grenzen der Vergrößerung werden bei elektronischen Sehhilfen in erster Linie durch die Grenzen der Handhabung

bestimmt. Mit zunehmendem Vergrößerungsgrad werden die Orientierung auf dem Lesegut und die Handhabung allgemein (Zittern, Fixierung etc.) schwieriger und die notwendigen Hand-, Kopf- und Augenbewegungen nehmen zu.

Spezielle Konzepte

Neben den beschriebenen Assistiven Technologien, die mittlerweile als bewährter und stabiler Standard betrachtet werden können (Miesenberger, 2015), gibt es eine ganze Reihe von Konzepten und Ideen, die spezifische Lösungen bieten und Gegenstand zahlreicher aktueller Forschungsprojekte sind. Einige dieser Ansätze sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Textsatzsysteme

Ein Vorteil grafischer Benutzeroberflächen besteht im Konzept „What you see is what you get“ (WYSIWYG). Damit ist gemeint, dass ein Text am Bildschirm tatsächlich fett oder im Blocksatz erscheint, wenn ihm diese Eigenschaften zugewiesen wurden. Für Menschen mit Sehschädigung werden diese visuellen Informationen erst durch eine Linearisierung und anschließende akustische oder haptische Ausgabe zugänglich. Da nun der entscheidende Vorteil von „What you see is what you get“ genau in der visuellen Repräsentation am Bildschirm liegt, ist das Formatieren für Menschen mit Sehschädigung in der Regel sehr viel mühsamer. Neben der Formatierung kann jedoch auch die räumliche Anordnung der einzelnen Zeichen für das Verständnis wesentlich sein, was beispielsweise bei mathematischen Formeln oder chemischen Strukturformeln (Stephan & Miesenberger, 2008) der Fall ist.

Zu diesen Herausforderungen gehören beispielsweise das allgemein verständliche Lesen und Schreiben, der selbstbestimmte Zugang zu Informationen, die Kommunikation auf Augenhöhe und die Verwendung von Standard-Hard- und -Software.

Haptische Modellierung

Neben der Linearisierung mehrdimensionaler Daten in eine spezifische Sprache gibt es auch die Möglichkeit, bestimmte Informationen mithilfe der 3D-Modellierung zugänglich zu machen. Eine Möglichkeit zur Herstellung von Modellen ist das Schwellfolienverfahren (Helios, 2001). Hier werden die darzustellenden Umriss auf spezielles Papier gezeichnet. Anschließend werden die bemalten Stellen erhitzt. Die besondere Eigenschaft des Papiers führt zur Ausdehnung der erhitzten Stellen, wodurch die Struktur tastbar wird. Eine weitere Möglichkeit ist die Herstellung von Modellschnitten wie sie z. B. in Architekturstudios verwendet werden. Außerdem ist zu erwarten, dass in Zukunft auch 3D-Drucker eine wesentliche Rolle bei der Anfertigung von statischen Modellen spielen werden. Einfache Modelle können über den Brailledrucker erzeugt werden (Helios, 2001; Mulloy et al., 2014). Durch die Anordnung von unterschiedlichen Braillebuchstaben wird versucht, ein Muster zu erzeugen, das den abzubildenden Umrissen möglichst nahe kommt.

Neben diesen teilweise sehr aufwändigen und teuren Verfahren sollte bedacht werden, dass einfache Modelle auch aus haushaltsübliche Materialien wie Alufolie, Fäden, Klebepistolen etc. hergestellt werden können (Smith & Smothers, 2012). Außerdem gibt es zahlreiche handelsübliche Spielwaren wie LEGO, Molekülbaukästen etc., die sich ausgezeichnet für die Verwendung im Unterricht eignen (Capovilla, Krugel & Hubwieser, 2013).

Aus technischer Sicht besteht das entscheidende Problem der 3D-Modellierung in der begrenzten Auflösung (Mulloy et al., 2014; Taibbi, Bernareggi, Gerino, Ahmetovic & Mascetti, 2014). Komplexe Grafen, vollständig beschriftete Landkarten, umfangreiche Ablaufdiagramme etc. können in der Regel haptisch nur schwer repräsentiert werden, da die Größe des Modells ein sinnvolles Arbeiten unmöglich machen würde. Außerdem muss unterstrichen werden, dass haptische Modelle nicht in der Lage sind, die visuelle Wahrnehmung vollständig zu ersetzen und deshalb nicht angenommen werden kann, dass die haptische Repräsentation bei Menschen mit Sehschädigung das gleiche leisten kann, wie die visuelle Repräsentation bei Menschen ohne Sehschädigung (Miesenberger, 2015).

Erweiterte Audiosysteme

Ein spannendes und zukunftsweisendes Forschungs- und Anwendungsfeld sind erweiterte Audiosysteme, bei denen Informationen mithilfe von rhythmischen oder melodischen Tonfolgen, Tonhöhen, Stereotönen etc. ausgegeben werden (ebd.). Ein einfaches Beispiel für ein erweitertes Audiosystem wäre ein Piepston, der erklingt, wenn die Rechtschreibprüfung nach dem Tippen des Worts einen Fehler festgestellt hat. Während Menschen ohne Sehschädigung den Fehler in den gängigen Textverarbeitungssystemen sofort anhand der Unterstreichung erkennen, ist diese Information für Menschen, die die Unterstreichung nicht sehen, nur mittelbar zugänglich. Der entscheidende Vorteil besteht darin, dass das Tonsignal parallel zur Sprachausgabe ausgegeben wird und damit den laufenden Arbeitsprozess nicht behindert. Ein konkretes Beispiel für erweiterte Audiosysteme ist die App SVGPlott, mit der Funktionsgraphen akustisch zugänglich gemacht werden sollen (Bornschein, Prescher & Weber, 2014). SVGPlott erlaubt über die direkte Interaktion in mehreren Modi das Untersuchen von Graphen mithilfe von Tönen (Taibbi et al., 2014). Es ist beispielsweise möglich, den Graphen von links nach rechts abzuspielen: Ein hoher Ton bedeutet einen hohen y-Wert, ein tiefer Ton einen entsprechend tiefen y-Wert. In einem anderen Modus kann dem Graphen mit dem Finger auf dem Touchscreen gefolgt werden. Hier zeigt ein hoher Ton an, dass der Finger auf oder sehr nah am Graphen liegt, während ein tief werdender Ton signalisiert, dass sich der Finger vom Graphen wegbewegt.

Diskussion

Im vorangegangenen Abschnitt wurde eine Auswahl verfügbarer Assistiver Technologien für Menschen mit einer Sehschädigung vorgestellt. Mit der Beschreibung der konkreten Anwendung dieser Assistiven Technologien wurden zahlreiche Herausforderungen deutlich, denen sich Menschen mit Sehschädigung stellen müssen. Zu diesen Herausforderungen gehören beispielsweise das allgemein verständliche Lesen und Schreiben, der selbstbestimmte Zugang zu Informationen, die Kommunikation auf Augenhöhe und die Verwendung von Standard-Hard- und -Software. Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist wesentlich für das Gelingen der schulischen und sozialen Inklusion und damit letztlich für die gesellschaftliche Partizipation an sich. Die Beschreibung der Anwendung der Assistiven Technologien macht aber auch deutlich, dass sich zahlreiche dieser Herausforderungen durch den adäquaten Einsatz von Assistiven Technologien bewältigen lassen. Damit gehört der Einsatz Assistiver Technologien zu den wirksamsten Maßnahmen im Inklusionsprozess von Menschen mit Behinderung (Michaels & McDermott, 2003).

Trotz dieser Erkenntnis lassen zahlreiche Studien darauf schließen, dass Schüler und Lehrkräfte die Potentiale von Assistiven Technologien nicht annähernd ausnutzen (Wong, 2012). Hierfür scheint es mehrere Gründe zu geben, die im Folgenden erörtert werden sollen. Neben dem finanziellen Aspekt der Anschaffung der notwendigen Assistiven Technologien sind das Wissen und die notwendige Kompetenz im Umgang mit der Assistiven Technologie bei Lehrkräften der allgemeinen Schule oder der Inklusionsfachkraft ein wichtiger Faktor für den erfolgreichen inklusiven Unterricht. Aktuell fehlt in Deutschland eine Untersuchung zum Einsatz der Assistiven Technologien und zum Wissen der Lehrkräfte über eben diese. Man kann jedoch vermuten, dass dieses Wissen nur durch eigenes Engagement erworben wurde, da bisher systematische Fort- und Weiterbildung sowie eine Ausbildung im Studium fehlen. Es wäre wünschenswert, dass im Lehramtsstudium für die allgemeine Schule eine Möglichkeit geschaffen wird, Assistive Technologien und deren möglichen Einsatz kennenzulernen. Durch eine solche Vorkenntnis bei den Lehrkräften wären auch die Kontaktaufnahme und die Beratung durch sonderpädagogische Fachkräfte im schulischen Feld leichter.

Neben der konkreten Kompetenz im Umgang mit Assistiven Technologien ist es des Weiteren wichtig, dass die Möglichkeiten, die sich durch Assistive Technologien ergeben, fachbezogen und allgemein für den Unterricht eingeschätzt werden können. So ist es zum Beispiel für den Unterricht wichtig zu wissen, dass eine Klassenlektüre in zugänglicher Form von Jugendlichen mit Sehschädigung in der Regel in der gleichen Zeit gelesen werden kann wie bei den Schülern ohne Beeinträchtigung. Die Verwendung eines Textsatzsystems im Mathematikunterricht kann

jedoch mit einem deutlich höheren Zeitaufwand verbunden sein und hinsichtlich der Komplexität von Ausdrücken an verhältnismäßig enge Grenzen stoßen. Die Erweiterung des Kreises der Verantwortlichen erscheint deshalb angebracht, da nicht ohne Weiteres davon ausgegangen werden kann, dass Beratungsfachkräfte die entsprechende Kompetenz in der Einschätzung der Möglichkeiten für die einzelnen Fächer durch Assistive Technologien mitbringen.

Ein nächstes Problem besteht darin, dass vorhandene Assistive Technologien nicht notwendigerweise umfänglich und zielführend genutzt werden, was vor allem daran liegt, dass die Kinder und Jugendlichen mit Sehschädigung unzureichend im Umgang mit Assistiven Technologien ausgebildet werden (Mulloy et al., 2014, Shinohara, 2011). Aus diesem Grund ist ein umfassendes Training mit einer fortlaufenden Anpassung an die subjektiven Bedürfnisse der Kinder und Jugendlichen über den gesamten Bildungsverlauf hinweg notwendig (Mulloy et al., 2014; Miesenberger, 2013). Erste Ansätze für ein solches Training entwickelt Dino Capovilla im Blindenzentrum St. Raphael in Südtirol. In einwöchigen Fortbildungen werden Jugendliche mit Sehschädigung individuell im Umgang mit für Sie relevanten Assistiven Technologien geschult. Wie ein solches Training integraler Bestandteil einer inklusiven Schule sein kann und wie ein Wissensaustausch der Lehrkräfte hierfür organisiert werden kann, ist eine offene Forschungsfrage, die die Autoren in den nächsten Jahren beantworten wollen.

American Foundation for the Blind (2013). *Tips for making print more readable*. Verfügbar unter <http://www.afb.org/section.aspx?TopicID=200&DocumentID=210> [24.11.2015]

Azenkot, S., Lee, N. B. (2013). Exploring the use of speech input by blind people on mobile devices. *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS'13)*, ACM. S. 1–8.

Böing, U. (2013). *Schritte inklusiver Schulentwicklung*. Würzburg: Edition Bentheim.

Bornschein, J., Prescher, D. & Weber, G. (2014). SVGPlott—Generating Adaptive and Accessible Audio-Tactile Function Graphs. *Proceedings of Computers Helping People with Special Needs (ICCHP'14)*, Springer International Publishing. S. 588–595.

Capovilla, D. & Hubwieser, P. (2013). Soziale Inklusion als fachdidaktisches Problem der Informatik. *blind - sehbehindert: Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen*, 4, S. 226–235.

Capovilla, D., Krugel, J. & Hubwieser, P. (2013). Teaching algorithmic thinking using haptic models for visually impaired students. *Proceedings of Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTiCE'13)*, IEEE. S. 167–171.

Degenhardt, S. (2007). Blindheit und Sehbehinderung. In J. Borchert (Hrsg.), *Einführung in die Sonderpädagogik* (S. 39–75). München: Oldenbourg Verlag.

Denninghaus, E. (1996). Die Förderung der Lesegeschwindigkeit bei blinden und sehbehinderten Jugendlichen und jungen Erwachsenen. *blind - sehbehindert: Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen*, 2, S. 95–100.

Brady, E., Ringel, M., Yu Zhong, M., White, S. & Bigham, J. (2013). Visual challenges in the everyday lives of blind people. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*, ACM, S. 2117–2126.

Farmer, J., & Morse, S. E. (2007). Project magnify: Increasing reading skills in students with low vision. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 101 (12), S. 763–768.

Francioni, J., & Smith, A. (2002). Computer science accessibility for students with visual disabilities, *SIGCSE Bull*, 34 (1), ACM. S. 91–95.

Helios, D. (2001). *Handbuch zur Erstellung taktiler Graphiken*. Verfügbar unter <http://www.szs.kit.edu/download/grafik.pdf> [03.10.2014]

Hofer, U. (2008). *Sehen oder Nichtsehen: Bedeutung für Lernen und aktive Teilhabe in ver-*

Schlüsselwörter

Assistive Technologien, Inklusiver Unterricht, Sehschädigung, Screen Reader

Abstract

The research and implementation of information and communication technologies (ICT) has not attracted appropriate interest in the current discussion on the implementation of an inclusive education system. However, many persons with a disability rely on the use of ICT during tuition. There is, in fact, knowledge of the ideal work environment for persons with vision impairment, yet the teachers' know-how on ICT and their assignment intuition is missing. This paper introduces the currently practiced methods of ICT in inclusive tuition settings and discusses advantages and disadvantages.

Keywords

assistive technologies, inclusive tuition, vision impairment, screen reader

Literatur

- schiedenen Bereichen des Lernens und Lebrens.* In M. Lang, U. Hofer & F. Beyer (Hrsg.), *Didaktik des Unterrichts mit blinden und hochgradig sehbehinderten Schülerinnen und Schülern - Band 1: Grundlagen* (S. 17–67). Stuttgart: Kohlhammer
- Illinois State Univeristy (2012). *SMART Boards for visually impaired.* Verfügbar unter <http://mediarelations.illinoisstate.edu/report/1213/july3/smartboards.asp> [24.11.2015]
- Kalina, U. (2010). *Informationstechnologie.* In U. Hofer, M. Lang & F. Beyer (Hrsg.), *Didaktik des Unterrichts mit blinden und hochgradig sehbehinderten Schülerinnen und Schülern - Band 2: Fachdidaktiken* (S. 189–199). Stuttgart: Kohlhammer,
- Kane, S. K., Bigham, J. P., & Wobbrock, J. O. (2008). Slide rule: making mobile touch screens accessible to blind people using multi-touch interaction techniques. *Proceedings of ASSETS'08, ACM.* S. 73–80.
- Lovie-Kitchin, J. E., Bevanm, J. D. & Hein, B. (2001). Reading performance in children with low vision. *Clinical and Experimental Optometry*, 84 (3), S. 148–154.
- Lueck, A. H., Bailey, I. L., Greer, R. B., Tuan, K. M., Bailey, V. M. & Dornbusch, H. G. (2003). Exploring print-size requirements and reading for students with low vision. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 97 (6), S. 335–354.
- Michaels, C. A., & McDermott, J. (2003). Assistive technology integration in special education teacher preparation: Program coordinators' perceptions of current attainment and importance. *Journal of Special Education Technology*, 18 (3), S. 29–44.
- Microsoft. (2013). *Helpful feature for JAWS in the Word spelling checker.* Verfügbar unter <http://office.microsoft.com/en-us/word-help/helpful-feature-for-jaws-in-the-wordspelling-checker-HA010269453.aspx> [24.11.2015]
- Miesenberger, K. (2013). *What is important is in the curriculum.* In D. Burger & K. Durand, (Hrsg.), *Developing e-Accessibility as a Professional Skill, Proceedings of the 7th European Accessibility Forum, G3IKT Business With Paper.* Verfügbar unter http://www.g3IKT.org/resource_center/publications_and_reports/p/productCategory_whitepapers/subCat_7/id_321 [24.11.2015]
- Miesenberger, K. (2015). Advanced and Emerging Solutions: IKT and AT in Education of Low Vision and Blind Students. *Proceedings of ICEAPVT15, ISBN: 978-960-466-145-9* S. 17–26.
- Moore, S. L. (2007). Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design of Learning, *Education Technology Research and Development*, 55 (5), S. 521–525.
- Müller-Prove, M. (2002). *Vision and Reality of Hypertext and Graphical User Interfaces.* Universität Hamburg.
- Mulloy, A., Gevarter, C., Hopkins, M., Sutherland, K. & Ramdoss, S. (2014). Assistive Technology for Students with Visual Impairments and Blindness. In G. Lancioni, N. Singh & N. Nirbhay (Hrsg.), *Assistive Technologies for People with Diverse Abilities* (S. 113–156). New York: Springer.
- Petz, A. & Miesenberger, K. (2012). Dealing with Changes in Supporting Students with Disabilities in Higher Education. *Proceedings of Computers Helping People with Special Needs Series (ICHP'12).* Springer. S. 1–25.
- Rodney, P. (2011). Stolpersteine auf dem Weg zur Inklusion. blind - sehbehindert: *Zeitschrift für das Sehgeschädigten-Bildungswesen*, 4, S. 218–228.
- Shinohara, K., & Wobbrock, J. (2011). In the shadow of misperception: assistive technology use and social interactions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.* ACM. S. 705–714.
- Smith, D. W. & Smothers, S. M. (2012). The role and characteristics of tactile graphics in secondary mathematics and science textbooks in Braille. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 106 (9), S. 543–554.
- Stephan, F. & Miesenberger, K. (2008). Chemical Workbench for Blind People – Accessing the Structure of Chemical Formula. *Proceedings of Computers Helping People with Special Needs (ICHP'08), Springer.* S. 953–960.
- Story, M. F., Mueller, J. L. & Mace, R. L. (1998). *The Universal Design File: Designing for People of All Ages and Abilities.* Revised Edition. ERIC.
- Taibbi, M., Bernareggi, C., Gerino, A., Ahmetovic, D. & Mascetti, S. (2014). AudioFunctions:

Eyes-Free Exploration of Mathematical Functions on Tablets. *Proceedings of Computers Helping People with Special Needs (ICCHP'14)*, Springer. S. 537–544.

Taras, C. (2011). *Darstellungs- und Interaktionstechniken zur effizienten Nutzung grafischer Oberflächen durch Blinde und Sehbehinderte*. Dissertation. Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme der Universität Stuttgart.

Weltgesundheitsorganisation WHO (2001/2005). *Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit (ICF)*. Deutsche Fassung. Verfügbar unter <http://www.dimdi.de/static/de/klassi/icf/> [04.02.2015]

Wong, M. E., & Cohen, L. (2012). Assistive technology use amongst students with visual impairments and their teachers: Barriers and challenges in special education. *Research Brief, 12 (5)*, S. 1–4.

Dr. Dino Capovilla
School of Education
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
dino.capovilla@tum.de

Dr. Markus Gebhardt
School of Education
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
markus.gebhardt@tum.de