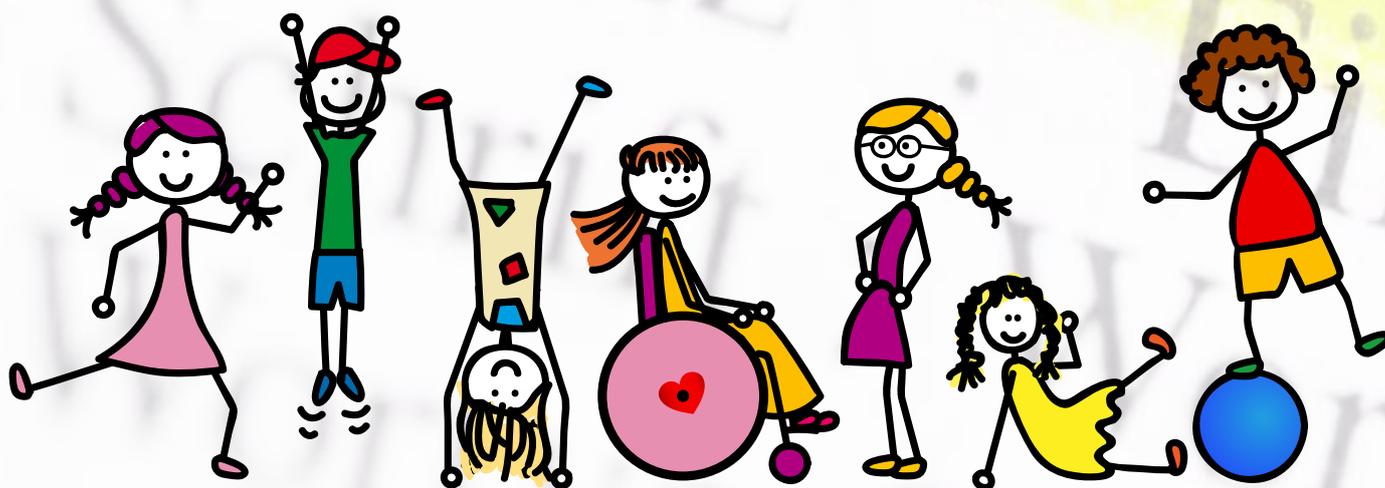


**Das Konzept "Design für alle"
im Kontext
der inklusiven Beschulung**

Inklusion



Frank Groben

Frank.groben@ediff.lu

Bertrange 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Design für alle	2
2.1 Definition und Abgrenzung	2
2.2 Das Konzept des Design für alle in der Industrie	3
2.3 UN-Behindertenrechtskonvention und Design für Alle	4
3. Inklusive Beschulung	5
4. Wichtigkeit des Design für alle im Kontext der inklusiven Beschulung	6
4.1 Bereiche und Dimensionen	6
4.2 Reduktion von Komplexität	7
4.3 Klassenraum Gestaltung	9
4.3.1 Sitzplatzzuordnung	9
4.3.2 Whiteboard oder Blackboard	10
4.3.3 Interaktive Tafel	10
4.4 Beleuchtung und Farben	11
4.4.1 Grundlagen	11
4.4.2 Tageslicht und künstliches Licht	12
4.4.3 Lichtintensität	16
4.5 Akustik	21
4.5.1 Grundlagen	21
4.5.2 Nachhallzeit	22
4.5.3 Störgeräusche	22
4.5.4 Signalgeräusch versus Umgebungsgeräusche	23
4.5.5 Lombard-Effekt	24
4.5.6 Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik	24
4.6 Luftqualität - Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur	25
4.6.1 Schadstoffe	25
4.6.2 CO ₂ -Konzentration	26
4.6.3 Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	27

4.7	Schulinfrastruktur	28
4.7.1	Die schwellenfreie Überwindung von Niveauunterschieden	28
4.7.2	Kontrastierende und blendfreie Böden	28
4.7.3	Raumindikatoren, Handläufe und stark kontrastierende Orientierungshilfen	28
4.7.4	Behindertentoilette	29
4.7.5	Türen	29
4.8	Zugänglichkeit von Dokumenten und Webinhalten	29
5.	Schlussfolgerung	33

Das Konzept “Design für alle” im Kontext der inklusiven Beschulung

1. Einleitung

Mit dem Gesetz vom 28. Juli 2011 ¹ hat Luxemburg die UN-Behindertenrechtskonvention (UN-BRK) ratifiziert. Es handelt sich hierbei um ein Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderung.

Neben den 6 verbindlichen UN-Sprachen haben Deutschland, Lichtenstein, Österreich und die Schweiz eine gemeinsame amtliche Übersetzung der Englischen Originaltexte ins Deutsche erarbeitet (vgl. Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen, 2014).

Die UN-BRK definiert im Artikel 1 (vgl. ebd., S.12) ihre Zielsetzung:

“Zweck dieses Übereinkommens ist es, den vollen und gleichberechtigten Genuss aller Menschenrechte und Grundfreiheiten durch alle Menschen mit Behinderungen zu fördern, zu schützen und zu gewährleisten und die Achtung der ihnen innewohnenden Würde zu fördern. Zu den Menschen mit Behinderungen zählen Menschen, die langfristige körperliche, seelische, geistige oder Sinnesbeeinträchtigungen haben, welche sie in Wechselwirkung mit verschiedenen Barrieren an der vollen, wirksamen und gleichberechtigten Teilhabe an der Gesellschaft hindern können.”

Ziel ist also die Teilhabe aller Menschen wohlweislich, dass Menschen mit einer Behinderung sich heute noch an Barrieren stoßen welche es zu überwinden gilt. Im ursprünglichen Sinne war mit dem Begriff “Barrierefreiheit” eher die Zugänglichkeit von öffentlichen Räumen gedacht. Die Begrifflichkeit hat jedoch eine Entwicklung gekannt dahingehend, dass deren Prinzipien auf alle Lebens- und Vollzugsbereiche ausgeweitet wurden.

Artikel 2 der UN-BRK (vgl. ebd., S.13) präzisiert die Vielfältigkeit der Medien welche Kommunikation ermöglichen oder eben zugänglich machen. Barrierefreiheit bedeutet hinsichtlich Kommunikation auf Medien zurückzugreifen welche für jeden zugänglich sind. Barrierefreiheit kann auch durch alternative, unterstützende Kommunikationsmedien- und Techniken und Sprachen (Braille-Schrift, Großdruck, Gebärdensprache, Leichte Sprache u.v.m.) gewährleistet werden.

Beim Sichten der aktuell zum Thema Barrierefreiheit angebotenen Literatur wird der Leser sehr schnell feststellen, dass sich die meisten Veröffentlichungen diesbezüglich heute auf den Bereich der Kommunikations- und Informationstechnologien beziehen. Es ist eine Tatsache, dass soziale Medien diesbezüglich heute noch am ehesten den Anforderungen der Barrierefreiheit sowie den ureigenen Zielsetzungen gerecht werden.

“Soziale Medien (Social Media) dienen der – häufig profilbasierten – Vernetzung von Benutzern und deren Kommunikation und Kooperation über das Internet. Das Web 2.0, das Mitmachweb, ist wesentlich durch sie bestimmt” (Springer-Gabler Verlag, 2017).

Immer mehr Internetseiten, informationstechnische Kommunikationsdienste, digitale Angebote berücksichtigen die Bedarfe fast aller Menschen. Das World Wide Web Consortium (kurz W3C) ist das Gremium welches

¹ Ministère de la Famille - Luxembourg (Hrsg.): Loi du 28 juillet 2011 portant 1. approbation de la Convention relative aux droits des personnes handicapées, faite à New York, le 13 décembre 2006; 2. approbation du Protocole facultatif à la Convention relative aux droits des personnes handicapées relatif au Comité des droits des personnes handicapées, fait à New York, le 13 décembre 2006; 3. désignation des mécanismes indépendants de promotion, de protection et de suivi de l’application de la Convention relative aux droits des personnes handicapées.

die Standards der Techniken im World Wide Web vorgibt. Einer deren Standards ist das WCAG 2.0, welcher maßgebend für eine barrierefreie Gestaltung von Internetangeboten ist. Der 1999 gesetzte Standard zur Barrierefreiheit des Internets (WCAG 1.0) wurde als Richtlinienkatalog des W3C Konsortiums herausgegeben. Mittlerweile wird auf die neuere Fassung das WCAG 2.0 verwiesen. Die ISO/IEC 40500:2012 entspricht zu 100% der WCAG 2.0 (WCAG, 2017).

Mittlerweile wurden recht viele ISO und DIN- Normierungen zur Barrierefreiheit entwickelt und veröffentlicht. Gesetzgebende Texte beziehen sich sehr oft auf diese Richtlinien, welche sehr technisch sind und sich sehr oft an Spezialisten wenden. Einige der bereits bestehenden DIN und ISO-Normen sind:

- DIN 18040-1 Barrierefreies Bauen - Öffentlich zugängliche Gebäude;
- DIN 18040-2 Barrierefreies Bauen - Barrierefreie Wohnungen;
- DIN 18040-3 Barrierefreies Bauen - Öffentlicher Verkehrs-und Freiraum;
- DIN 77800 Betreutes Wohnen;
- DIN 18041 Hörsamkeit in Räumen;
- DIN 32984 Bodenindikatoren;
- DIN 32975 Barrierefreie Kontraste;
- DIN 32975 - Visuelle Informationen;
- DIN ISO 14289-1 Dokumentenmanagementanwendungen - Verbesserung der Barrierefreiheit für das Dateiformat von elektronischen Dokumenten;
- ISO 11608-7 Kanülenbasierte Injektionssysteme zur medizinischen Verwendung - Anforderungen und Prüfverfahren - Teil 7: Anforderungen an die Barrierefreiheit für Menschen mit Sehbehinderung;
- ISO/IEC 24751-2 Individuelle Anpassbarkeit und Barrierefreiheit für E-Learning, Ausbildung und Weiterbildung - Teil 2: Deklaration persönlichen Bedarfs und persönlicher Präferenzen im Kontext von Barrierefreiheit.

Zusätzlich zu den hier angeführten Standards werden immer mehr DIN-Fachberichte erstellt, welche eine Ausweitung des Prinzips der Barrierefreiheit auf zusätzliche Dienstleistungen und Produkte ebnen sollen:

- DIN Fachbericht 124 - Leitsätze zur Gestaltung barrierefreier Produkte;
- DIN-Fachbericht 131 (2003) Leitlinien für Normungsgremien zur Berücksichtigung der Bedürfnisse von älteren Menschen und von Menschen mit Behinderungen.

Man kann sagen, dass das Konzept der Barrierefreiheit sich auf funktional technische Lösungsansätze konzentriert welche sich in Standards (DIN, ISO) erfassen lassen.

2. Design für alle

2.1 Definition und Abgrenzung

Design für alle ist ein Konzept welches über die Zielsetzungen der Barrierefreiheit hinaus dem Aspekt der Ästhetik einen sehr großen Stellenwert beimisst. Die Produkte sollen vielen Benutzern gefallen und deren Bedarfen entsprechen.

Design für alle setzt voraus, dass Produkte, bauliche Maßnahmen, Kommunikationsinhalte und Medien so konzipiert werden, dass keine nachträgliche Barrierefreiheit gewährt werden muss. So entspricht das Anbringen einer Rollstuhllrampe an ein bestehendes Gebäude den Prinzipien der Barrierefreiheit jedoch nicht denen des Design für alle. Die Überlegungen zur Gestaltung müssen die Prinzipien des Design für alle vor der Realisierung berücksichtigen haben.

Im Gegensatz zum Konzept der Barrierefreiheit, welches sich ausschließlich auf die Bedarfe von Menschen mit

einer Behinderung ausgerichtet, ist das Konzept des Design für alle von Anfang an ausgerichtet auf die Inklusion aller Menschen (vgl. EDAD, 2005).

Das deutschlandweite Kompetenznetzwerk "Design für Alle – Deutschland e.V." definiert das Konzept Design für alle folgendermaßen:

"Design für Alle (DfA) ist ein Konzept für die Planung und Gestaltung von Produkten, Dienstleistungen und Infrastrukturen, mit dem Ziel, allen Menschen deren Nutzung ohne individuelle Anpassung oder besondere Assistenz zu ermöglichen. Konkret sind damit Lösungen gemeint, die besonders gebrauchsfreundlich und auch bei individuellen Anforderungen, z.B. aufgrund des Alters oder einer Behinderung, benutzt werden können. Das Konzept berücksichtigt dabei, dass die Design-für-Alle-Lösungen von den Konsumenten als komfortabel und attraktiv wahrgenommen werden". (EDAD, 2017)

Es verhält sich also mit dem Konzept des "Design für alle" und dem Konzept der Barrierefreiheit wie mit den Konzepten der Inklusion und der Integration.

Integration heißt automatisch auch immer, dass eine Segregation vorhergeht.

Barrierefreiheit beinhaltet bereits die Idee, dass Barrieren bestehen.

Es geht hier sicherlich um mehr als um Begrifflichkeiten. Es geht hier vielmehr darum einen Mentalitätswandel herbei zu führen welcher Adaptationen und Anpassungen im Sinne der Barrierefreiheit, so gut sie auch gemeint sind, überflüssig werden lässt.

In den nachfolgenden Überlegungen muss auch immer wieder darauf geachtet werden, Maßnahmen, Ideen und Konzepte immer im Lichte der Philosophie des „Design für alle“ zu sehen. Weitere Themen schwingen durchgehend mit und lassen manchmal an weitere Aspekte denken, welche jedoch nicht mit dem gewählten Thema vereinbar sind, jedoch von genau so großer Bedeutung für Schule und Lehren sind:

- Thema: Der Klassenraum als dritter Pädagoge;
- Thema: Barrierefreiheit in der Schule;
- Thema: Gesundheit und Sicherheit in der Schule.

Wir werden sehen, dass es eine große Schnittmenge zwischen diesen Themen gibt und dass eine Dissoziation relevanter Aspekte zum Thema der vorliegenden Handreichung von jenen welche gedanklich ganz nahe liegen jedoch nicht der Philosophie des *Design für alle* entsprechen, recht schwierig ist.

Zum besseren Verständnis sei hier folgendes Beispiele erwähnt:

- Sitzbälle finden verstärkt Einzug im Klassenraum. Die Konzentration der Kinder soll verbessert werden und der Muskelaufbau beschleunigt sich. Ökonomisch gesehen, kann festgehalten werden, dass der Ball die Hälfte eines Stuhles kostet. Pädagogische und gesundheitsbasierte Aspekte sind hier maßgeblich Ausgangspunkt einer Praxis, bei der Überlegungen zur „Barrierefreiheit“ oder dem „Design für alle“ nicht zu Grunde liegen.

2.2 Das Konzept des Design für alle in der Industrie

Das Design für alle ist in Zwischenzeit vom Handel und der Industrie aufgenommen worden. Es hat sich vielerorts die Erkenntnis durchgesetzt, dass wenn ein Produkt dem Konzept des Design für alle entspricht es auch automatisch einen größeren Kundenkreis anspricht. Marktwirtschaftliche Faktoren und Berechnungsmodelle lassen Entscheidungsträger immer öfters erkennen, dass kurzfristige höhere Investitionen in Produktforschung und -Entwicklung sich längerfristig rechnen. Neumann et al. nennen 7 Erfolgsfaktoren für Unternehmen (Neumann et al. 2014, S.10):

- Bekenntnis der Entscheidungsträger: Das Thema zur Chefsache machen;
- Koordination und Kontinuität: Jemand muss sich langfristig um das Thema kümmern;
- Vernetzung und Beteiligung: Netzwerke nutzen, um gemeinsam mehr zu erreichen;

- Strategische Planung: Design für Alle weitsichtig und umfassend denken;
- Wissensmanagement und Qualifikation: Kompetenzen erwerben, ausbauen und nutzen;
- Marketing und Kommunikation: Den Kunden emotional ansprechen und begeistern;
- Optimierung der Ressourcen: Die Rendite im Blick haben.



Abb. 1. Einhandstecker



Abb. 2. Weinflasche mit Braille-Etikett



Abb. 3. Einhand-Salatschleuder

Die Tatsache, dass der Leitfaden von Neumann et al. im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellt wurde, zeigt, dass dem Design für alle auch eine wirtschaftspolitische Bedeutung beigemessen wird. Der Leitfaden stellt erfolgreiche Produkte dar und erklärt deren Markterfolg durch die Berücksichtigung der Prinzipien des Design für alle.

2.3 UN-Behindertenrechtskonvention und Design für Alle

Im Englischen Originaltext der UN-Konvention für die Rechte behinderter Menschen (United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities, Art. 2,4) wird auf das Konzept des Universal Design verwiesen. Das Universelle Design entspricht eher der Einheitlichkeit, dem Individuumzentrierten des Ursprungslandes (Vereinigte Staaten) in dem Sinne als dass die hier vorgegebenen 7 Prinzipien eigentlich einen universellen, einheitlichen Lösungsansatz respektive *einheitliche Anforderungen für Produkte, Service und Umwelten* (Wikipedia - Universal Design) vorsehen, wohingegen das Design für alle auf der Überzeugung fußt, dass es unmöglich ist den einzig wahren Weg zu identifizieren (vgl. Aragal et al, 2013, Seite V). Das European Concept for accessibility Network, dem auch das Luxemburgische Info-Handicap angehört, hat diesbezüglich einen Leitfaden entwickelt (Aragal et al, 2013), welcher sich eben nicht auf Definitionen und Richtlinien bezieht sondern sich das Ziel des Aufzeigens "praktischer Wege zur bestmöglichen und erfolgreichen Umsetzung der im Design für Alle für den öffentlichen und den privaten Bereich enthaltenen Hinweise" (ebd. Seite 1) gesetzt hat.

Es ist außerdem wichtig darauf hinzuweisen, dass das Design für Alle ebenfalls spezifische Lösungen für Menschen mit sonderpädagogischem Förderbedarf mit einschließt.

Es ist in diesem Sinne nicht verwunderlich, dass bei der Übersetzung des Englischen Originaltextes der UN-Konvention ins Deutsche die Begrifflichkeit des Universellen Designs mit Design für Alle übersetzt wurde. Obwohl Luxemburg bei der Ausarbeitung der deutschsprachigen Ausgabe nicht beteiligt war, so wird in dem Aktionsplan der Luxemburger Regierung zur Umsetzung der UNO-Behindertenrechtskonvention ausschließlich auf das Konzept des Designs für Alle verwiesen.

Mit dem Gesetz vom 28. Juli 2011 (s.Fußnote Seite 1) sind die Richtlinien der UN-BRK für Luxemburg verbindlich geworden. Das Prinzip des Design für alle ist also auch verbindlich und der Luxemburger Staat hat diese Herausforderung auch angenommen:

"Das übergeordnete Ziel heißt Inklusion. Ein integratives System strebt die Eingliederung von „Problemfällen“ an. Ein inklusives System hingegen grenzt gar nicht erst aus, sondern nimmt jeden an wie er ist. Ein inklusives System macht nur Sinn, wenn diesem eine Anpassung unserer Umwelt und unseres Umfeldes vorausgeht" (Marie-Josée Jacobs, 2010, S. 1)

Wir wollen im Nachfolgenden aufweisen wie und wo die Philosophie des Design für alle Ihre Wichtigkeit auf dem Weg zur inklusiven Beschulung hat.

3. Inklusive Beschulung

Der Begriff der *Inklusiven Beschulung* verbreitete sich eigentlich erst mit der Konferenz von Salamanca im Jahre 1994. Diese von der UNESCO einberufenen Weltkonferenz mit dem Thema „WORLD CONFERENCE ON SPECIAL NEEDS EDUCATION: ACCESS AND QUALITY“ (UNESCO - The Salamanca Statement, 1994) brachte Politiker, wie Erzieher, Lehrer, diverse Spezialisten und Verwaltungsbeamte zusammen mit Vertretern der Vereinten Nationen (ebd.).

Die Konferenz nahm die Salamanca Erklärung über Prinzipien, Politik und Praxis in der Pädagogik für besondere Bedürfnisse und einen Aktionsrahmen an. Diese Dokumente sind getragen vom Prinzip der Integration, von der Erkenntnis, dass es notwendig ist, auf eine „Schule für alle“ hinzuarbeiten - also auf Einrichtungen, die alle aufnehmen, die Unterschiede schätzen, das Lernen unterstützen und auf individuelle Bedürfnisse eingehen (UNESCO - Die Salamanca Erklärung, 1994, S. 1)

Ein Paradigmenwechsel erfolgte in dem Sinne, als dass es laut dieser Erklärung nicht nur reicht Menschen mit sonderpädagogischem Förderbedarf das Recht auf Bildung zusammen mit anderen Menschen zuzugestehen, sondern, dass die Gesellschaft eine inklusive Entwicklung anstrebt, welche nicht die Anpassung des Individuums an die Gesellschaft sondern vielmehr eine Umgestaltung der Gesellschaft, in dem Sinne dass letztere die Vielfalt aller Menschen anerkennt und Ihre Teilhabe als Bereicherung sieht, in den Fokus setzt.

Die Gesellschaft muss also entsprechende Rahmenbedingungen schaffen, welche mit einem Abbau von Barrieren einhergehen müssen. In der Schule entstehen Probleme nicht durch das Individuum sondern durch die Barrieren. Diese sind vielfältiger Natur und müssen in der Schulentwicklung berücksichtigt werden.

In England und weiteren englischsprachigen Länder ist Schulentwicklung bisher eher Output-orientiert gewesen. Diese Tendenz wurde durch PISA und den dadurch ausgelösten Bildungswettbewerb noch weiter angeheizt. Auf der einen Seite könnte dies Schulleiter, Ministerialbeamte und Politiker dazu anregen sich vermehrt für den Schulraum und dessen Einfluss auf Schulleistung zu konzentrieren, andererseits stehen dann wieder curriculare Inhalte, welche von der Steuerungsphilosophie bevorzugt werden im Mittelpunkt der Überlegungen und eben nicht jene Werte und Einstellungen wie auch die entsprechende Grundhaltung, welche alle Voraussetzung für eine inklusive Entwicklung von Schulen sind. Es besteht damit die Gefahr, dass den geprüften Kompetenzen ein höherer Stellenwert zugeschrieben wird und dass fälschlicherweise angenommen wird, dass die Leistung von heterogene Lerngruppen sich mit standardisierten Testverfahren ermitteln lassen.

Booth & Ainscow entwickelten und veröffentlichten 2000 zum ersten Mal den „Index für Inklusion“ welcher dieser letzten Sichtweise jene einer inklusive Wertorientierung entgegensetzt. (Ainscow et al., 2017, S.9). Um sich von exkludierenden Werten zu lösen, müssen Handlungen und Sichtweisen, Einstellungen und Werte kritisch reflektiert werden.

Um diese Selbstreflexion anzuregen werden im Index hunderte von Fragen aufgeführt welche den Dialog fordern und fördern. Die Fragen beruhen auf einem dreidimensionalen Konzept anhand dessen Entwicklungspotentiale abgeleitet werden können (ebd S.63). Die drei Entwicklungsdimensionen sind:

- Inklusive Kulturen schaffen;
- Inklusive Strukturen entwickeln;
- Inklusive Praktiken entwickeln (ebd. S. 63).

Nur ein kleiner Bestandteil der Materialien setzt sich mit einer barrierefreien Schule auseinander (ebd, S.133).

Viele weitere Indikatoren greifen organisatorische, pädagogische und curriculare Inhalte auf, welche darauf hinarbeiten das Kerncurriculum einer Schule so einzustellen, dass es sich den Werten, welche einer inklusiven Beschulung entsprechen, durch einen fortwährenden Prozess der Selbstreflexion nähert.

Man sollte sich also bei der folgenden Lektüre immer vergegenwärtigen, dass bauliche und pädagogische Maßnahmen wie sie im folgenden erläutert werden nur ein Puzzlestück eines sehr komplexen Bildes sind und das Ziel der Inklusion sich nur annähern lässt indem Werte und Einstellungen gelebt wie auch curricular verankert werden.

4. Wichtigkeit des Design für alle im Kontext der inklusiven Beschulung

Der Erfolg einer inklusiven Beschulung bedarf also der Berücksichtigung vieler Einflussgrößen.

Das Design für Alle stellt jedoch eine Stellschraube einer wesentlichen Dimension inklusiver Beschulung dar. Es gibt mittlerweile eine große Vielfalt an Veröffentlichungen, welche barrierefreie Schulen beschreiben. Sehr oft wird hier auf die spezifischen Bedarfe von Schülern mit Blindheit oder körperlich-motorischen Einschränkungen Rücksicht genommen. All diese Elemente der Barrierefreiheit sind sicherlich lobenswert und richtig. Anliegen folgender Arbeit ist es aber über diese bereits relativ verbreiteten Informationen zur Barrierefreiheit (Fahrstuhl, Blindenstreifen, Rollstuhlrampen, ...) hinaus jene Möglichkeiten der Gestaltung von Schulen und Schulräumen aufzuzeigen, welche von Vorteil für alle Schüler sind und nicht nur jenen, welche gängig bekannte spezifische Bedarfe aufzeigen.

Behinderung entsteht nicht durch die Einschränkungen betroffener Personen sondern durch die Unfähigkeit des Umfeldes sich räumlich, zeitlich, organisatorisch und sozial-emotional auf diese einzustellen.

Wir haben zum Thema Inklusive Beschulung gesehen, dass es vielen Dimensionen gibt, welche berücksichtigt werden müssen, so dass Schule den Bedarfen aller Kinder gerecht werden kann.

Im Folgenden möchte ich, ausgehend von mehreren wissenschaftlichen Untersuchungen wie auch durch Aufzeigen konkreter Beispiele aufzeigen, dass das Design für Alle eine wesentliche Erweiterung vom Konzept der Barrierefreiheit und den zur "inklusive Beschulung" einheitlich geltenden Standards darstellt.

4.1 Bereiche und Dimensionen

Es gibt mittlerweile etliche wissenschaftliche Veröffentlichungen über Bereiche und Dimensionen, die maßgeblich nicht nur die Schule gestalten sondern auch das Resultat schulischer Aktivität und schulischen Erfolgs in sehr starkem Maße beeinflussen. Viele wissenschaftliche Untersuchungen haben sich mit dem Thema der Schulinfrastrukturen und deren Einfluss auf schulische Leistungen auseinandergesetzt. Einige der hier beschriebenen Dimensionen sind jedoch für Kinder mit spezifischen Bedarfen ausschlaggebende Umweltfaktoren, welche über Zugänglichkeit des Unterrichts entscheiden. Insbesondere diese Dimensionen sollen Gegenstand der folgenden Überlegungen sein, weil sie, wie wissenschaftlich erwiesen, sich positiv auf die Schulleistungen sowie etliche psycho-soziale Aspekte der Persönlichkeit aller Schüler niederschlagen (Ermüdung, Aufmerksamkeitsspanne, Ausdauer, Stimmung, physische und psychische Gesundheit).

Diese Dimensionen sind:

- Reduktion von Komplexität;
- Klassenraumgestaltung;
- Beleuchtung und Farben;
- Akustik;
- Luftqualität - Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur;
- Schulinfrastruktur und Schulgröße;
- Zugänglichkeit von Dokumenten und Webinhalten;

Nicht alle Kinder mit spezifischem Förderbedarf werden gleichviel von der Umsetzung entsprechender Richtlinien in Bezug auf die hier aufgelisteten Dimensionen profitieren. Die Summe aller Entsprechungen jedoch wird vielerorts inklusive Beschulungen ermöglichen wo alleine nur sonderpädagogisches Wirken nicht dem Anspruch

der Inklusion gerecht werden kann. Dass den Bedarfen der Kinder mit sonderpädagogischem Förderbedarf dann besonders Rechnung getragen wird, ist einerseits schön aber interessant wird es dann wenn allen Kindern des Klassenverbundes eine Lehr- und Lernumgebung angeboten wird, welche den allgemeinen physiologischen und psycho-pädagogischen Bedarfen von allen Kindern gerecht wird. Dass mit der Berücksichtigung, der im folgenden aufgezeigten Dimensionen, Leistungssteigerungen der Kinder, ein reduziertes Ausmaß an Verhaltensauffälligkeiten, eine gesteigerte Aufmerksamkeitsspanne, ein erhöhtes Wohlbefinden und eine Reduktion krankheitsbedingter Ausfälle einhergeht wird sicherlich eher Entscheidungsträger dazu veranlassen sich dieser Thematik anzunehmen und entsprechende Maßnahmen im Sinne des Designs für alle zu ergreifen.

4.2 Reduktion von Komplexität

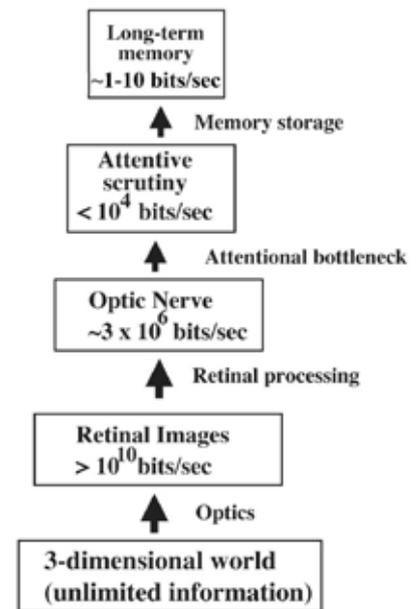
„Komplexitätsreduktion ist eine Selektion der tatsächlich in der Umwelt auftretenden und wahrnehmbaren Informationen, die sowohl von Lebewesen vorgenommen wird als auch bei sozialen Systemen auftritt. Technisch gesehen ist Komplexitätsreduktion eine Datenvorverarbeitung oder Filterung.“

Ohne Komplexitätsreduktion würde (zumindest bei höher entwickelten Lebewesen, die zur Wahrnehmung vieler verschiedener Arten von Reizen imstande sind) zum einen Reizüberflutung auftreten, so dass die aus der Umwelt auf das Lebewesen einströmenden Informationen nicht oder nicht mehr sinnvoll verarbeitet werden könnten. Zum anderen dient sie der Ermöglichung oder Vereinfachung von Kommunikation (Wikipedia Komplexitätsreduktion, 2017).

Es sollte unbedingt darüber nachgedacht werden in wie weit eine Reduktion visueller und auditiver Einflüsse und Eindrücke eine verbesserte Handlungsfähigkeit des Schülers im Klassengeschehen und im Lernprozess ermöglicht werden kann.

Einerseits betrachten wir es lerntheoretisch als absolut normal, dass der Schüler schlecht unter Bedingungen, in denen er mehreren Geräuschquellen, respektive lauten Geräuschquellen ausgesetzt ist, lernen kann. Der Lehrer ermahnt zur Ruhe und weist darauf hin, dass immer nur einer sprechen sollte. Der Presslufthammer wird als störend empfunden ebenso wie die Mücke oder die Biene, die sich im Klassensaal verloren hat. Der tropfende Wasserhahn wird umgehend geschlossen und Kopfhörer werden verboten. Alle Eltern werden Richtlinien und Verbote des Lehrers in diese Sinne und im Interesse des eigenen Kindes akzeptieren und verstehen. Komplexitätsreduktion im Sinne eines Filters der auditiven Reize scheint als Paradigma allgemein verbreitet.

Bei den visuellen Reizen wird dieses Paradigma der Komplexitätsreduktion eher selten als wichtig oder nötig eingestuft. Es sollte uns aber zu Denken geben, dass eben gerade der visuelle Kanal derjenige ist, über den der Mensch, das Kind, der Schüler die meisten Informationen tagtäglich aufnimmt. Allgemein wird angenommen, dass ungefähr 70% menschlicher neuronaler Prozesse visueller Natur sind. Die visuelle Wahrnehmung verhält sich zu optischen Reizen wie die auditive Wahrnehmung zu den akustischen Reizen. Sie stellen die zweite Phase des Wahrnehmungsprozesses von sensorischen Systemen dar und folgen der ersten Phase der reinen Empfindung. Mit dem dynamischen routing wird jener Prozess beschrieben, welcher die sukzessive Reduzierung möglicher Informationsinhalte darstellt. Es handelt sich hierbei um eine Komplexitätsreduktion welche, aufgrund der maximalen Verarbeitungsgeschwindigkeit sukzessiv sich folgender Prozesse, respektive aufgrund der Einschränkungen bezüglich der



AN INFORMATION PYRAMID

Abb. 4. Informationspyramide des visuelles Systems aus Anderson et al. (2004)

Arbeitsgeschwindigkeit diesen Prozessen zu Grunde liegenden physikalischen und neurophysiologischen Gegebenheiten, unabdingbar ist.



Abb. 5. Überfülltes Federmäppchen



Abb. 6. Übersichtliches Federmäppchen

Weniger ist mehr

Desto weniger die Schüler im Federmäppchen mitschleppen desto schneller werden die richtigen Utensilien gefunden. Die Vielfalt lässt Wesentliches nicht erkennen.

Es ist ein Irrglauben anzunehmen, dass das visuelle System eine gute Abbildung unserer Umgebung liefern könnte. Das Modell der Informationspyramide liesse eher auf eine starke Vereinfachung und Abstrahierung der realen Umwelt schliessen.

«Das visuelle System erzeugt keinesfalls ein Abbild der externen Welt; es leistet viel mehr. Aus dem winzigen, verzerrten, invertierten, zweidimensionalen Bild, das auf die Netzhaut im hinteren Teil des Auges projiziert wird, erzeugt das visuelle System eine genaue, sehr detaillierte, dreidimensionale Wahrnehmung, die -und das ist der wirklich wichtige Aspekt dabei - in mancherlei Hinsicht für uns einer genauen Abbildung der physikalischen Realität überlegen ist.» (Pinel, J., 2001)



Abb. 7. Unstrukturierte, ineinanderverschachtelte Comicseite



Abb. 8. Visuell sauber auseinandergelegte Comicseite

Weniger ist mehr

Schüler können Arbeitsblätter besser verwenden wenn sie aufbereitet sind durch:

- Farbe
- Guten Kontrast
- Bessere Übersichtlichkeit
- Gut lesbare Schriften

Um diese Abbildungsqualität zu erreichen leisten wir Menschen höchste Anstrengungen. Wesentliche Informationen welche uns unsere Optik zuspielt müssen anhand von Erfahrungswerten herausgefiltert, herausgerechnet werden. Aufmerksamkeitsprozesse spielen hier eine wesentliche

Rolle. Viele Dysproblematiken zeigen im Gesamterscheinungsbild unter anderem Auffälligkeiten in der visuellen Wahrnehmungsfähigkeiten (z.B. Frostig's Test der visuellen Wahrnehmung), denen anhand einiger sehr simpler Ratschläge begegnet werden kann.



Abb. 9. Visuell stark ablenkend



Abb. 10. Visuell eher neutral

Die Schwierigkeiten die einige wenige im Umgang mit visuell komplexen Bildern, Gegenständen, Hintergründen und Räumen erleben, zeigen auf der anderen Seite auch die Herausforderungen, die alle anderen in der Schule zu jedem Moment bewältigen müssen. Wie bei den meisten biologischen Prozessen beschreibt die Gaußsche Normalverteilung auch die Variabilität der Sehschärfe und indirekt jene der Bewältigung visueller Eindrücke. Ist diese Sehschärfe oder sind andere Funktionen des Sehens fehlerhaft oder ungenügend, so werden bei der visuellen Wahrnehmung, also bei der Verarbeitung visueller Reize, zusätzliche Ressourcen zur Auswertung benötigt.

Dass jenen, welche die Aufgaben bewältigen, jedoch mehr Ressourcen für weiterführende Prozesse (Lernen) zur Verfügung stehen, wenn die Herausforderungen der visuellen Umwelt nicht unnötigerweise störend und belastend sind, sollte mitbedacht werden, wenn wir gemäß dem Prinzip der Komplexitätsreduktion, unsere visuelle Umwelt gestalten.

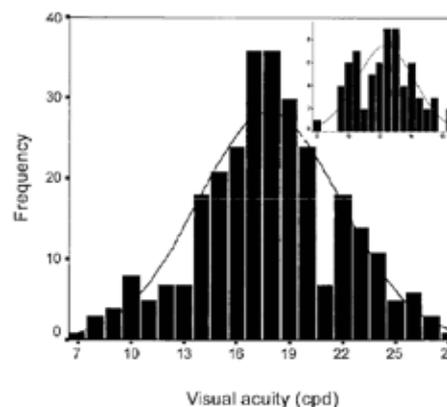


Abb. 11. Gaussische Verteilung der Sehschärfe; LAURITZEN, L. et al. (2004)

4.3 Klassenraum Gestaltung

4.3.1 Sitzplatzzuordnung

Ein Klassenraum wird nie für alle Kinder gleich „gerecht“ sein. Walden und Borrelbach (Borrelbach et al., 2017) beklagen, dass noch viele Schulen bei der Möblierung auf „Durchschnittswerte der Körpergröße, Augenhöhe, Schulterhöhe, Schulterbreite, Hüftbreite, Kniebeuge...“ Bezug nehmen. Es muss jedoch bemerkt werden, dass in Luxemburg weniger die Sparzwänge der Gemeinden und der Regierung an einer etwaigen inadäquaten und unflexiblen Möblierung Schuld tragen sondern, dass dieser Umstand in Ausnahmefällen dann eher auf ein ungenügendes Bewusstsein der Lehrkräfte bezüglich der individuellen Bedarfe der Schüler (-innen) zurückzuführen ist.

Vierorts wird heute die Höhe der Stühle individuell eingestellt. Die Kinder werden jedoch noch immer in unterschiedlichen Distanzen zu der optischen Darbietung an der Tafel oder der Projektion des Videoprojektors an der Leinwand sitzen. Kriterien der Sitzplatzverteilung sind den Lehrern nicht gegeben.

Wenn die Höhe der Stühle eingestellt wird, so wird sich an der messbaren Körpergröße orientiert. Gleiches sollte

auch bei der Sitzordnung und Sitzplatzverteilung geschehen. Die Normalverteilung der Sehschärfe (hier in cpd² dargestellt) zeigt, dass diese sich gleichermaßen verhält wie die der Körpergröße.

Auch wenn dieser dargestellte Durchschnitt maßgeblich durch niedrigere Werte im hohen Alter beeinflusst ist³, so bleibt es Tatsache, dass Schüler über recht unterschiedliche Sehschärfen verfügen. Vielfach wird noch zwischen „Normalsichtigen“ und „Schwachsichtigen“ unterschieden, was jedoch in Anbetracht des Kontinuums der Variablen „Sehschärfe“ (s. Abb. 11 Seite 9) eher einem Artefakt entspricht.

Gleichermaßen verhält es sich mit dem Hörvermögen der Schüler. Beide Aspekte müssten unbedingt bei der Sitzplatzordnung berücksichtigt werden und dürfen nicht durch disziplinarische Maßnahmen oder Lösungsansätze im Kontext von „Verhaltensauffälligkeiten“ aufgehoben werden.

4.3.2 Whiteboard oder Blackboard

Desweiteren sollte dem Trend zur grünen Tafel entgegen gewirkt werden. Ursprünglich waren Schultafeln schwarz. Farbpsychologen forderten jedoch einen Schwenk auf Grün, welcher damit begründet wurde, dass Grün nicht ablenkt, angenehm ist und entspannend wirkt. Das Auge könne also länger mit Grün als mit irgendeiner anderen Farbe arbeiten. Tatsache ist, dass die Empfindlichkeit des Auges im Wellenbereich 507nm bis 550nm die höchste ist und dass eben Grün in diesem Bereich zu finden ist. Nur, ist es nicht die Empfindlichkeit für den Grünbereich welche ausschlaggebend für eine gute Wahrnehmung ist. Die Information an der Tafel wird ja in einer anderen Farbe kodiert und wahrnehmungspsychologisch und neurophysiologisch ist es der Kontrast von Hintergrund und Information, welcher für eine gute Wahrnehmungsqualität bürgt. Den besten Kontrast bietet weiße Farbe auf schwarzem Hintergrund. Der gleiche Kontrast besteht zwar bei schwarzer Farbe auf weißem Hintergrund jedoch kommt es wegen der physiologischen Blendung⁴ zu einer etwas herabgesetzten Sehschärfe.

Das Whiteboard findet heute immer öfters Einzug in den Klassenraum. Leider muss man feststellen, dass neben der physiologischen Blendung eine reelle Blendung durch glatte Oberflächen entstehen kann. Eine schwarze Tafel ist also immer einem Whiteboard vorzuziehen.

4.3.3 Interaktive Tafel

Die interaktive Tafel jedoch, obwohl sie auch über eine weiße Oberfläche verfügt, hat durchaus Potential für alle Kinder in der Klasse als Gewinn angesehen zu werden.

Die interaktiven Tafeln haben die letzten Jahre eine rasante Entwicklung gekannt. Moderne Geräte ermöglichen es heute bei Tageslicht, Videoprojektionen im Klassenraum bei Tageslicht und bester Wiedergabequalität (HD, über 3000 Lumen, 16:9 Format, Kontrastverhältnis von über 10.000:1) zu erleben. Probleme von Blendung bestehen weniger, da die ganze Fläche der weißen Oberfläche gleich beleuchtet ist. Die interaktive Tafel kann sowohl vom PC als auch mit elektronischen Stiften und Handbewegungen betätigt werden. Die Ausgabe des Videoprojektors kann parallel auch auf die Laptops und die Computer von Schüler übertragen werden, die selbst wieder interaktiv über das Laptop, das Handy oder das Tablet mit ihren zugehörigen Eingabegeräten wie Braillezeile oder Taster die Ausgabe steuern können.

Die interaktive Tafel bietet die Möglichkeit der spontanen Vergrößerung von Elementen wie auch die der Kontrastverstärkung. Die interaktive Tafel entspricht somit durchaus dem Prinzip des Design für alle, da sie sehr viele Eingabemodi ermöglicht und viele Formen der Ausgabe eingeplant werden können.

2 CPD= cycles per degree

3 Ein 80 jährigen Mensch hat eine durchschnittliche Sehschärfe von ungefähr 0,5 wohingegen ein Jugendlicher eine durchschnittliche Sehschärfe von fast 2.0 hat. Eine Sehschärfe von 1.0 entspricht dem Durchschnitt aller Menschen.

4 Wenn die Leuchtdichteunterschiede im Gesichtsfeld relativ nahe aneinander liegen so kann sich das Auge an einen Mittelwert anpassen. Ist der Unterschied zu gross (grosse weiße Fläche mit wenig Schwarz), so werden kleinere Leuchtdichteunterschiede mit zunehmender Intensität der Blendungsquelle unsichtbar.

4.4 Beleuchtung und Farben

4.4.1 Grundlagen

Im Laufe der menschlichen Evolution haben sich die Menschen an einen 24-Stunden hell-dunkel Rhythmus angepasst und eine Art innere Uhr (Circadiane Rhythmik die dem Schlaf-Wach Rhythmus entspricht) entwickelt (Czeisler et al., 1999). Licht befähigt den Menschen zu visuellen Leistungen, reguliert sehr stark körperinterne Prozesse (Schlaf-und Wachzustand) und ist eine sehr starke Einflussgröße für Kognition und Laune, ermöglicht die Produktion von sehr wichtigen Hormonen wie Cortisol oder Melatonin und ist wesentlich für ein gesundes Mix aus Aktivität und Entspannung (Mott,M., 2012).

Zum Thema Beleuchtung gibt es sehr viele Studien, die eindeutig nachweisen, dass diese Einflussgröße und ihre verschiedenen Variablen einen großen und immer positiven Einfluss auf Lernleistung, Ausdauer, Gesundheit, Abwesenheit und Gemütszustand des Schülers hat. Beleuchtung muss auch immer im Kontext der Farben gesehen werden.

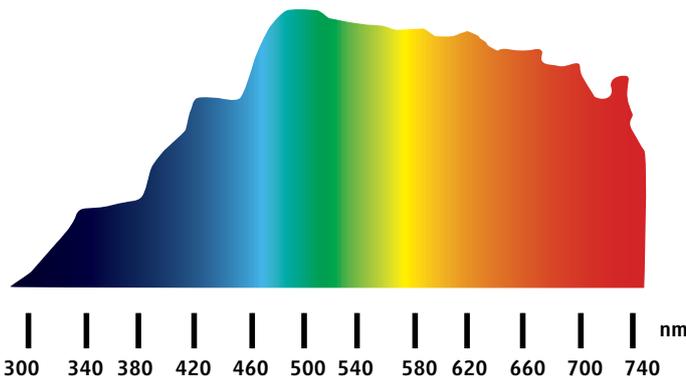


Abb. 12. Tageslichtspektrum

Farben von Gegenständen entsprechen der Wechselwirkung des einfallenden Lichtes mit der Oberflächenbeschaffenheit des beleuchteten Materials. Tomaten leuchten nicht rot sondern reflektieren nur den Rotanteil des Spektrallichts. Alle anderen Spektralfarben werden absorbiert. Die emittierende Lichtquelle kann sich selbstverständlich auch auf einige wenige Spektralfarben beschränken, womit der Farbwahrnehmungseindruck (z.Bsp dem der Tomate) wesentlich verändert werden kann.

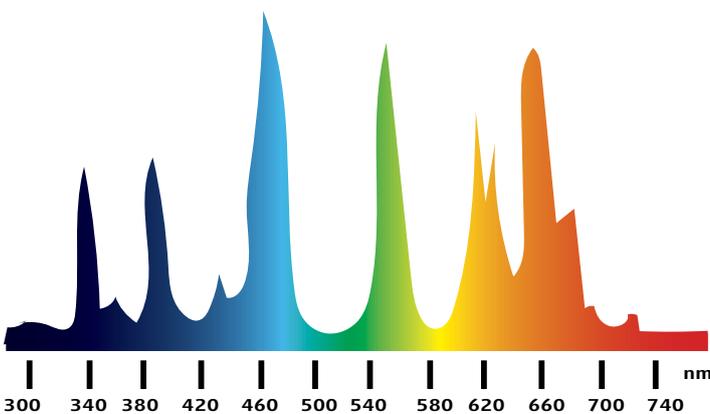


Abb. 13. Leuchtröhrenspektrum

Die folgenden Definitionen und Beschreibung verschiedener Größen des Lichts sind stark vereinfacht und sollen nur helfen die Resultate der vorgestellten Studien richtig zu lesen und zu interpretieren.

- Der Lichtstrom wird in der Einheit LUMEN ausgedrückt. Der Lichtstrom entspricht der Quantität Licht welche eine Lichtquelle ausstrahlt.
- Die Beleuchtungsintensität oder Beleuchtungsstärke, wird in der Einheit LUX ausgedrückt. Sie misst die Lichtmenge welche auf einen Gegenstand fällt.
- Die Farbtemperatur wird in der Einheit °K (Grad Kelvin) ausgedrückt. Sie bestimmt den Frequenzbereich respektiv die Wellenlänge des Spektrallichts.
- Die Lichtstärke gibt den Lichtstrom bezoge auf einen bestimmten Raumwinkel an. Eine Lichtquelle hat nicht immer einen einheitlichen Lichtstrom sondern die Quantität Licht variiert sehr oft in Funktion des Raumwinkels. Verändert sich also die Menge an Licht nicht sondern wird diese Menge nur auf einen kleineren Raumwinkel verteilt, so bleibt der Lichtstrom unverändert wohingegen die Lichtstärke steigt. Die Lichtstärke

hat als Einheit das Candela..

- Die Leuchtdichte wird in $C \cdot m^{-2}$ ausgedrückt (Candela je m²).
- Der Leuchtdichtenkontrast (hier im Spezifischen der Michelson-Kontrast)⁵ hat einen maximalen Wert von 1 (schwarz auf weiß) für einen maximalen Kontrast und einen Wert von 0 für einen nicht existierenden Kontrast (weiß auf weiß).
- Das Lichtspektrum zeigt den Anteil der verschiedenen Farben einer Lichtquelle (natürliche oder Künstliche).

Die Verteilung der verschiedenen Spektralfarben des Tageslichtes wird in der „Abb. 12. Tageslichtspektrum“ auf Seite 11 dargestellt. Beim Betrachten der Verteilung der Wellenlängen (Farben) nach Intensität (vertikale Achse), wird ersichtlich, dass das Tageslicht einen sehr hohen Rotanteil aufweist. Hingegen ist der Blauanteil (niedrige Wellenlänge) weniger intensiv.

Den unteren Wellenlängen entsprechen jedoch die höheren Frequenzen, welche einen nachweisbaren Einfluss auf den Wach-Schlaf-Rhythmus des Menschen haben und maßgeblich die Ausschüttung von Serotonin und Melatonin bestimmen.

Die Abb. 13 zeigt einen ganz anderen Verlauf des Lichtspektrum auf. Es entspricht nicht demjenigen an welchen der Mensch sich im Laufe seiner Entwicklungsgeschichte angepasst hat. Er zeigt einige sehr ausgeprägte Spitzen im Bereich des Blauanteils (hohe Frequenz, niedrige Wellenlänge) sowie einen sehr inhomogenen Verlauf im Rotbereich.

Damit sind jetzt wesentliche physikalische Größen sowie Dimensionen beschrieben auf welche sich folgende Studien beziehen oder welche die im Folgenden dargestellten epidemiologische Studien in Bezug auf Schule untersuchen.

4.4.2 Tageslicht und künstliches Licht

1997 veröffentlichte Earthman und Lemasters eine Synthese von 53 Studien betreffend Schulinfrastrukturen, schulische Leistung und Verhalten von Schülern (Earthman et al., 1997). Alle zusammen getragenen Studien zeigten eindeutig, dass die Schulleistung von Kindern signifikant besser bei Tageslicht ist als bei künstlichem Licht. Es konnte auch ein Zusammenhang zwischen wenig oder gar keinem Ultraviolett-Anteil des künstlichen Lichtes (meistens Leuchtstoffröhren) und erhöhter Abwesenheitsrate der Schüler festgestellt werden.

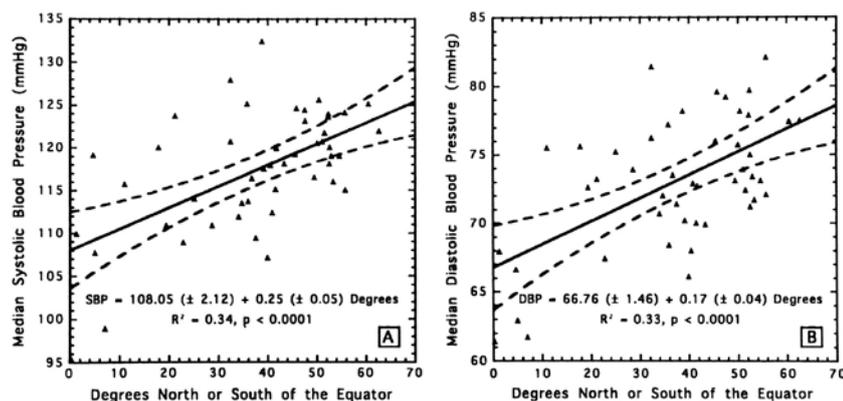


Abb. 14. Ultraviolettes Licht und Blutdruck

höher liegt als derjenige von Menschen, welche in sonnenreichen Erdteilen wohnen (Rostand, 1997)

Martin Feelisch von der University of Southampton hat in seiner Veröffentlichung von 2014 (Liu et al, 2014) den naturwissenschaftlich Nachweis dieses epidemiologische Befundes erbracht. Die Abbildung „Ultraviolettes Licht und Blutdruck“ zeigt eindrücklich wie der systolische Blutdruck mit zunehmender Entfernung zum Äquator, also mit sinkender Beleuchtungsintensität, steigt.

Die Synthese (ebd.oben) konnte auch einen Zusammenhang zwischen erhöhtem Blutdruck und der Abwesenheit von ultravioletter Strahlung feststellen. Dieser Zusammenhang konnte später auch in einer britischen Studie eindeutig nachgewiesen werden. Nach dieser Studie ist der positive Einfluss von Tageslicht (also mit ultraviolettem Anteil) auf einen niedrigen Blutdruck weitaus größer als bisher gedacht. Das Resultat findet sich auch darin bestätigt, dass der Blutdruck in nördlichen Länder im Durchschnitt

⁵ Der Michelson-Kontrast misst das Verhältnis zwischen der Differenz un der Summe der Leuchtdichten von zwei nebeneinanderliegenden Flächen

John Ott veröffentlichte 1976 (Ott, J, 1976) einen Bericht über ein Pilot Projekt, bei welchem eine Experimentalgruppe und eine Kontrollgruppe von Kindern, mit nachgewiesener „Hyperaktivität“, in jeweils zwei fensterlosen Klassensälen mit verschiedenen künstlichen Lichtquellen unterrichtet wurden. Die Kontrollgruppen wurden in 2 Schulräumen mit Standard Leuchtstoffröhren unterrichtet. Die Experimentalgruppe jedoch wurden in zwei Klassenräumen mit Vollspektrum-Leuchtstoffröhren unterrichtet. Diese Leuchtstoffröhren kommen dem natürlichen Lichtspektrum viel näher als Standard Leuchtstoffröhren. In den 4 Klassensälen waren jeweils Kameras installiert, welches das Schulgeschehen dokumentierten. Es konnte eine „dramatische“ (ebd.) Verbesserung des Verhaltens, eine gesteigerte Aufmerksamkeitsspanne sowie verbesserte Schulleistungen in den 2 Experimentalklassen nachgewiesen werden.

Kritisch muss hier angemerkt werden, dass ein Versuch mit Tageslicht und Standard-Leuchtstoffröhren noch eher Aufschluss über den Einfluss und die Wichtigkeit von Tageslicht auf Schulleistung und Aufmerksamkeit (sprich weniger Verhaltensauffälligkeiten) hätte. Vollspektrum Leuchtstoffröhren hatten 1976 einen noch stark abweichenden Verlauf der Kurven welche die Intensität des Licht den Wellenlängen nach darstellt.

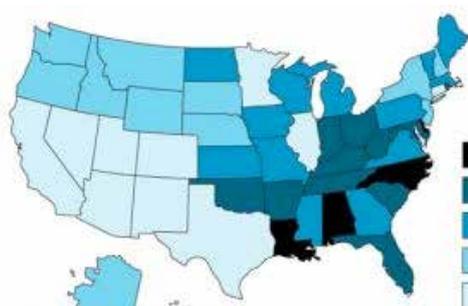


Abb. 15. Prävalenz von ADHS

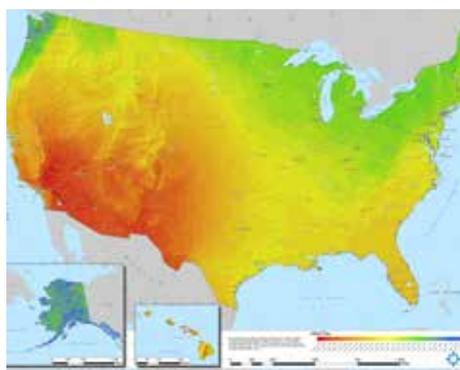


Abb. 16. Verteilung der Sonnenintensität

Martijn Arns (Arns et al., 2013) konnte anhand eines Abgleichs der Datensätze zur geographischen Prävalenz von ADHS in den Vereinigten Staaten sowie der graphischen Darstellung der durchschnittlichen Sonnenintensität der Vereinigten Staaten Erstaunliches feststellen. Die Karten zeigten eine eindeutig negative Dosis-Wirkung Korrelation zwischen Sonnenintensität und ADHS-Prävalenz. Die weitere Analyse der Datensätze unter Berücksichtigung etwaiger Störfaktoren wie sozioökonomischer Status, niedriges Geburtsgewicht, Kindersterblichkeit oder Ethnie konnten diese Beobachtung eindeutig belegen. So können 34-41% der Varianz der Prävalenz von ADHS bei Kindern und 57% der Varianz von ADHS-Prävalenz bei Erwachsenen durch die Sonnenintensität erklärt werden.

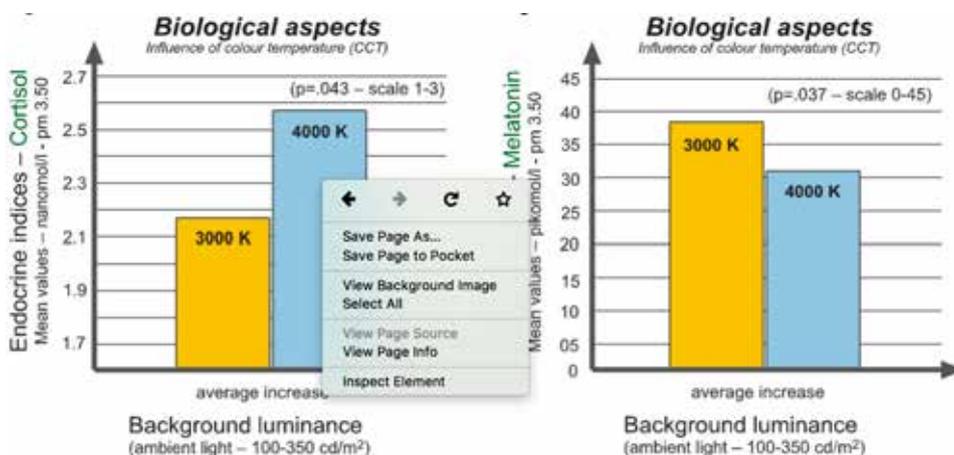


Abb. 17. Abbildung aus einer Studie von T.Govén et al: (2007). Eine Beleuchtung von 4000°K hat einen höheren Blauanteil und einen niedrigeren Rotanteil als eine Beleuchtung von 3000°K.

Die Circadiane Rhythmik die dem Schlaf-Wach Rhythmus entspricht wird wesentlich durch die Ausschüttung von zwei Hormonen, dem Cortisol und dem Melatonin, gesteuert. Die Ausschüttung dieser Hormone wird nachweislich stark vom Anteil des Blauanteils des Lichts bestimmt. Bei hohem Blauanteil steigt der Cortisol Spiegel und der Melatonin-Spiegel sinkt. Bei niedrigem Blauanteil des Lichts und hohem Rotanteil

steigt der Melatonin-Spiegel und der Cortisol-Spiegel sinkt. Dies ist abends der Fall, wenn das Sonnenlicht einen besonders weiten Weg durch die Atmosphäre zurücklegen muss und wo die höheren Wellenlängen des Lichts (464nm-484nm), welche dem Rotanteil entsprechen, weniger stark durch die Luftschichten gefiltert (reflektiert) werden. Würden wir also nur mit Tageslicht funktionieren, so würde unser Melatoninspiegel abends steigen und wir würden müde. Morgens, wenn die Sonne zunehmend einen höheren Blauanteil aufweist, steigt auch die Cortisol-Ausschüttung und wir werden zunehmend „wacher“.

Govén (Govén et al., 2007) hat eine Studie mit 43 Versuchsteilnehmern im Alter von 18-67 Jahre durchgeführt. Diese wurden in zwei identisch ausgerüsteten Büroräumen mit verschiedenen Beleuchtungsintensitäten und Beleuchtungsfarben ausgesetzt. Er konnte nachweisen, dass bei steigendem Blauanteil (4000°K) der Cortisolspiegel höher lag als bei Licht, welches einen hohen Rotanteil verzeichnete.

Diese Studie, wie auch andere bereits erbrachte Nachweise, belegen den Zusammenhang zwischen dem Licht, welchem der Mensch, der Schüler ausgesetzt ist und dessen Schlaf-Wach-Rhythmus, der wesentlich von der Ausschüttung von Melatonin und Cortisol gesteuert wird.

Arns (2013) schlussfolgert:

Controlled studies are required to prospectively replicate these findings and investigate whether intense light/solar exposure during the day, particularly in the morning, or reduced light exposure in the evening (especially blue 464– 484-nm light) could reduce ADHD symptoms or maybe “treat” ADHD. This could open the way to prevention of a subgroup of ADHD or children with attention-deficit syndrome in a variety of ways: for example, exposing children more to natural light during the day (skylight to bring natural light into classrooms and scheduling more outside play time in the morning rather than in the afternoon); reducing exposure to blue light in the evening by parental control; or encouraging device manufacturers to control the emission of blue light from mobile devices on the basis of time of day (Arns et al., 2013, S.5)

Obwohl die Qualität der Beleuchtungsmittel (Leuchtstoffröhren oder LED) heute ein sehr hohes Niveau erreicht, vermögen sie nicht die Qualität (Lichtspektrum) und Intensität des Tageslichtes zu ersetzen. Alleine die Auswirkungen der ungenügenden Spektralfarbenwiedergabe sind beträchtlich und haben große Auswirkungen auf die Schüler und deren Verhalten.

Eine sehr aufwendige Studie der *Heschong Mahone group* (1999), in der mehr als 21.000 Schüler in 2.000 Klassenräumen beobachtet wurden gilt auch heute noch als die wohl aussagekräftigste Studie über den Einfluss des Tageslichts auf schulische Leistungen. Die Studie berücksichtigte nicht nur den sozioökonomischen Hintergrund der Schüler sondern beachtete auch inwiefern die Schüler in speziellen schulischen Maßnahmen einbezogen waren. Luftaufnahmen und Baupläne der Schule wurden ausgewertet um den Tageslichteinfall über das Jahr hinaus hochzurechnen (ebd. Seite 7).

In den Klassenzimmer mit dem meisten Tageslicht konnten bei den Schülern durchschnittlich 20% höhere Lernfortschritte in Mathematik und 26% höhere Lernfortschritte in Lesetests festgestellt werden als in jenen Klassenzimmern mit dem wenigsten Tageslicht. Dieses Ergebnis stützt sich auf eine einjährige Beobachtung und berücksichtigt vor allem die schulischen Leistungstest. Dieser positive Effekt des Tageslicht konnte jedoch nur bei Tageslichteinlässen im Dach gesehen werden, welche eine Streuung des einfallenden Lichtes beinhalteten. Tageslicht, welches ungestreut von oben in den Klassensaal hineinleuchtet, hatte aus Gründen der Blendung eher einen negativen Effekt (21% Rückgang bei Lesetests) (*Heschong Mahone group, 1999, S.12*)

In den Klassenzimmer mit dem größten Fensterbereich konnten bei den Schülern durchschnittlich 19% höhere Lernfortschritte in Mathematik und 23% höhere Lernfortschritte in Lesetests festgestellt werden als in jenen Klassenzimmern mit dem kleinsten Fensterbereich. Dieses Ergebnis stützt sich auf eine einjährige Beobachtung und berücksichtigt vor allem die schulischen Leistungstest. (*Heschong Mahone group, 1999, S.12*)

Alle genannten Ergebnisse konnten mit einem Konfidenzintervall von 99% beobachtet werden. (*Heschong Mahone group, 1999, S.12*).

Schlussfolgernd:

Licht, welches nicht der Qualität des Tageslichts entspricht, verursacht einen höheren Blutdruck, korreliert mit höheren Abwesenheitsraten in der Klasse (Lemaster, 1997), korreliert mit einer höheren ADHS-Prävalenz (Arns et al., 2013) und trägt zu einem gestörten Schlaf-Wach-Rhythmus (Govén et al., 2007) bei. Außerdem kann Kunstlicht nicht den gleichen positiven Effekt auf die Lernfortschritte der Schüler verzeichnen, wie Tageslicht dies tut.

Vielfach wird heute gefordert, dass die Beleuchtung der Entwicklungsgeschichte des Menschen mehr Rechnung trägt und dem biologischen Bauplan des Menschen also besser entspricht. Die Schulen sollten vor allem mehr Tageslicht in den Klassenraum hinein lassen. Gläserne Schuldächer, welche das Tageslicht reflektieren und blendungsfrei in den Klassenraum hinein lassen, könnten mehrfach für Schulplaner und Architekten von Bedeutung sein. In Kalifornien hat sich 1999, auf Anregung der Energie Kommission von Kalifornien ein Konsortium von Partnern aus der Energiewirtschaft gebildet, welches zur Aufgabe hatte die Leistungsfähigkeit der staatlichen Schulen zu verbessern.

Mit Leistungsfähigkeit war vor allem der Energieaufwand eine Schule zu betreiben gemeint. Hier lagen also anfangs finanzielle Beweggründe vor, sich des Themas anzunehmen. Zusehends jedoch hat sich das Thema „Leistungsfähigkeit“ auf die Bereiche schulische Leistungsfähigkeit der Kinder, Gesundheit, Komfort, Energieeffizienz, Materialeffizienz, leichter Unterhalt, Umweltverträglichkeit, anregende Architektur sowie Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit der Infrastrukturen an wechselnde Bedarfe ausgeweitet (CHPS 2004, 2006, 2017)

„Collaborative for High Performance Schools“ (CHPS) ist mittlerweile ein Netzwerk von Pädagogen, Neuropsychologen, Ingenieuren und Architekten deren Ziel es ist hochperformante Schulen zu bauen und zu gestalten damit sie sowohl den Ansprüchen des Umweltschutzes, den beschränkten finanziellen Möglichkeiten des Staates wie aber auch den neu gewonnenen Erkenntnissen der Lernpsychologie gerecht werden. Mehr als 300 Schulen sind bereits in den Vereinigten Staaten nach den Leitlinien und Prinzipien von CHPS entstanden. Aktuell befinden sich weitere 300 im Bau. CHPS lässt regelmäßig den Einfluss baulicher Maßnahmen evaluieren um so auch die eigenen Anforderungen an Schulen zu rechtfertigen und politisch interessant auszuformulieren. Schulträger in angelsächsischen Ländern unterliegen regelmäßigen Bewertungen der Schulaufsichtsbehörden. Ein Ranking der besten Schulen führt zu einem sehr starken Konkurrenzdruck, der gegebenenfalls zur Schließung von nicht erfolgreichen Schulen führen kann. Es ist also auch im ureigenen Interesse der Schule auch die Schulleistungen im Blick zu haben und alle möglichen Hebel zu betätigen.

Wenn wir die Logik des Designs für alle an den Neubau von Schulen anwenden, dies unter Kenntnis der hier vorgestellten Studienergebnisse, so müssen zukünftig alle Baumaßnahmen für Klassenzimmer alle möglichen Tageslichteinlässe mit Lichtstreuung Vorsehen. Das Kunstlicht, welches ungenügendes oder nicht vorhandenes Tageslicht ergänzt sollte sehr nahe an den Spektralfarben des Tageslicht liegen und durch Farbsteuerung den biologischen Gegebenheiten des Menschen Rechnung tragen. Der Blauanteil des Lichts sollte am Nachmittag sukzessiv heruntergefahren werden.

Dieser erste lichtspezifische Aspekt der Beleuchtung (Spektralfarben) kommt den Bedürfnissen fast aller Menschen mit einer Sehbehinderung entgegen, insbesondere dann wenn sie eine Farbenfehlsichtigkeit haben. Immerhin zeigen 9% aller männlichen Schüler und 0,8 % aller weiblichen Schüler eine Rot-Grün Sehschwäche respektiv -Blindheit auf. Diese Schüler werden nicht als Kinder mit „Sehbehinderung“ eingestuft, da hier keine wesentliche Einschränkung im schulischen Alltag unterstellt werden kann wenn wie gesagt die Spektralfarben des Tageslicht genügend respektiert werden. Dass dies nicht immer der Fall ist zeigt zum Beispiel der folgende Bildvergleich.



Abb. 18. Farbsehtest; links mit Licht welches sehr nahe an der Lichtfarbe des Tageslichts ist und rechts mit Licht welches einen sehr hohen Rotanteil enthält und so die Farbwahrnehmung sogar unmöglich macht.

Beide Fotos wurden unter den gleichen technischen Gegebenheiten aufgenommen. Der einzige Unterschied besteht in der Temperatur des Lichtes.

Auf dem Foto links wurde mit einer Leuchtstofflampe von 5000°K beleuchtet. Rechts wurde eine Leuchtstofflampe von 2700°K benutzt.

Im hier gezeigten praktischen Beispiel ist die Farbpalette auf dem rechten Bild nicht in ihrer Farbabstufung zu erkennen, wogegen man sie problemlos auf dem linken Bild unterscheiden kann. Dies ist ausschließlich auf die Farbtemperatur zurückzuführen.

Bei der Auswahl der Leuchtmittel ist also sowohl auf die Farbtemperatur wie auch auf den Farbwiedergabe-Index (RA) zu achten. Letzterer soll mindestens bei 80 liegen (Maximalwert wäre 100) und somit weit-möglichst dem Lichtspektrum von Tageslicht entsprechen.

4.4.3 Lichtintensität

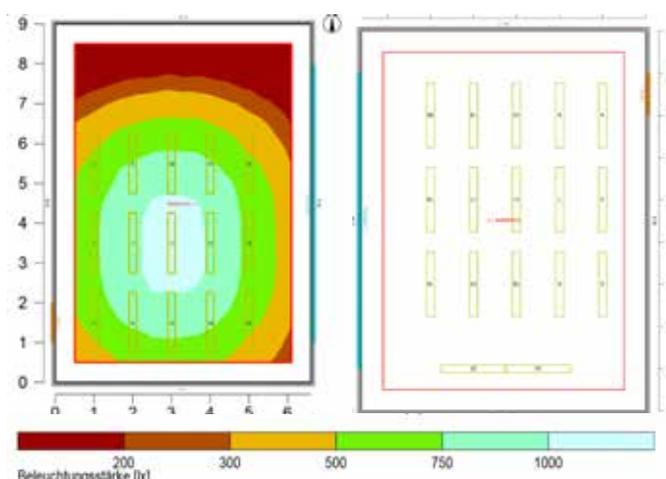


Abb. 19. Klassische Ausleuchtung eines Klassenraums ohne Tageslichteinfluss

in Luxemburg mit 500 Lux als genügend eingestuft wird ist historisch gesehen in mehreren Dimensionen begründet.

Die Lichtintensität ist wahrscheinlich die Variable des Lichts, deren Einfluss auf das Lernen und auf Schulleistung am meisten untersucht wurde. Internationale Normen (DIN EN 12464-1) sehen in den meisten Ländern einen Wert von 300 Lux auf der Arbeitsfläche für Schüler in der Grund- und Sekundarschule als genügend an. Dies entspricht nicht einmal 1% der durchschnittlichen Intensität des Sonnenlichts (50.000 Lux). Es sei vermerkt, dass die Intensität des Sonnenlichts bis zu 120.000 Lux betragen kann. Dies sehr hohen Werte sind sicherlich auch keine guten Richtwerte, da sie bei den meisten Menschen ohne Sehbehinderung zwar die Sehschärfe noch etwas erhöhen aber gleichzeitig sehr unangenehm wahrgenommen werden (Blendung, Kopfschmerzen...). Dass die Beleuchtung in einem Klassenraum

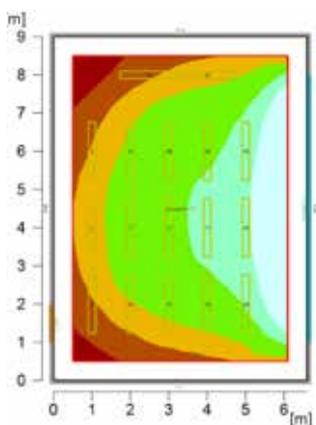


Abb. 20. Klassische Ausleuchtung mit Tageslicht

Zum einen muss bedacht werden, dass die herkömmlichen Leuchtmittel (Glühlampen und Leuchtstoffröhren) einen Großteil der verbrauchten Energie nicht in Licht sondern in Hitze umwandeln. Es handelt sich hier um eine sehr teure Art der Wärme-produktion und treibt die Unterhaltskosten mit steigender Intensität der Beleuchtung in wirtschaftlich und umweltpolitisch kaum akzeptable Dimensionen. So liegt zum Beispiel der Wirkungsgrad einer Glühlampe im besten Fall bei 5%. 95% der Energie wird in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben. Die Lichtausbeute pro Watt beträgt maximal 12 Lumen wobei moderne Led-Leuchten durchaus bis zu 150 Lumen pro Watt ergeben. Dies bedeutet, dass bei gleicher Belichtungsintensität LED-Systeme 12 mal weniger Strom verbrauchen. Die heute üblichen Kompaktstofflampen haben eine maximale Lichtausbeute von 65 Lumen pro Watt. Die technische Entwicklung ermöglicht uns also heute mit Kunstlicht höhere Lux-Werte in den Klassen vorzusehen ohne eine Überhitzung des Klassensaals und eine Explosion der Stromrechnung befürchten zu müssen.

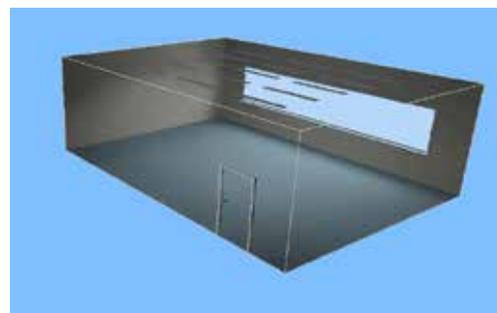


Abb. 21. Die Verteilung der Leuchtdichte ist eher inhomogen.

Darüber hinaus müssen Kompaktstofflampen normalerweise nach 5000 Betriebsstunden ausgewechselt werden. Moderne Led-Leuchten haben oft eine Lebensdauer von 50.000 Stunden. Der um das zehnfache reduzierte Unterhaltsaufwand von LED-Leuchten spricht eindeutig dafür die Intensität den Bedarfen der Schüler anzupassen.

Schlussendlich gab es auch immer das Problem der beschränkten Fläche auf der Leuchtmittel angebracht werden. Die Leuchtdichte beschreibt die Menge Licht welche eine Fläche ausstrahlt. Diese ist bei klassischen Leuchten auf maximal 1000 cd/m² beschränkt (zum Beispiel bei Fluoreszenzleuchten). Led-Leuchten ergeben heute bereits über 1000.000 cd/m², also das 1000-fache.

Sicherlich kann man nicht von heute auf morgen zu einem einheitlichen Angebot an Schulen übergehen, welche den Kindern und Studierenden ein Maximum an Tageslicht anbieten und Ihnen so auch ein optimales Schulumfeld anbieten. Wir werden auch in der nahen Zukunft mit Kunstlicht leben müssen. Die neueren technischen Errungenschaften der Led-Leuchten lassen heute licht-technische Gestaltungen zu, welche physikalisch, finanziell und räumlich vor Jahren noch nicht denkbar waren. Bildungspolitische Rücksicht auf Finanzen müsste Entscheidungsträger eher für ein neues Paradigma der Anforderungen an Schulinfrastrukturen entstehen lassen, da der nachgewiesene wesentlich gesteigerte Lernfortschritt durch richtige Beleuchtung recht günstig im Vergleich zu anderen bildungspolitischen Hebeln zu haben ist.

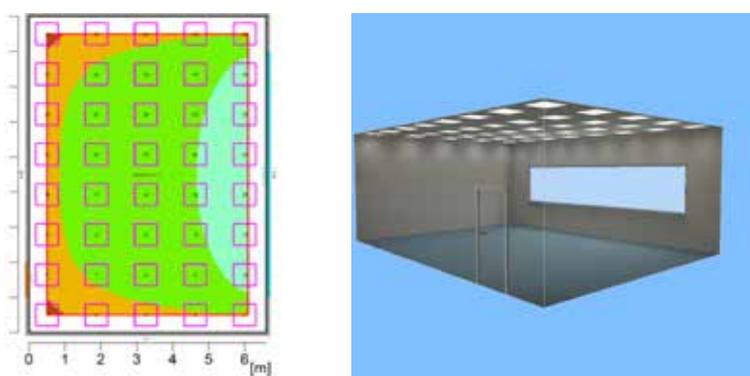
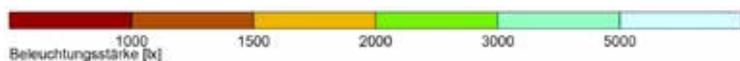


Abb. 22. Ausleuchtung mit genügend Led-Leuchten; rechts sieht man, dass die Ausleuchtung viel homogener ist



Die standard Beleuchtung eines Klassensaals entspricht in der Regel dem Layout wie es in Abb. 19 dargestellt ist. Bei dieser Darstellung ist der Einfluss des Tageslichts ausgeblendet. Auf der Nutzebene (= 0,75 m), die der Schulbank entspricht, ergibt sich eine durchschnittliche Beleuchtungsstärke von 560 Lux. Diese ist aber überhaupt nicht homogen und verteilt sich sehr „ungerecht“ auf die einzelnen Arbeitsplätze. Der Schüler in der Mitte des Klassensaals genießt großzügige 1000 Lux wohingegen der Schüler rechts oben sich mit 100 Lux zufrieden geben muss⁶. Alle Leuchtkörper zusammen ergeben 68.000 Lumen und verbrauchen 968 Watt.

Wird nun der mittlere Indirektanteil des Tageslichts mit einem Algorithmus mit verrechnet, sieht die Situation noch ungerechter aus. Der Schüler rechts beim Fenster genießt 2500 Lux, wohingegen der Schüler links unten mit 500 Lux Vorlieb nehmen muss. Die Tafel ist durchschnittlich mit 700 Lux beleuchtet.

Menschen nehmen Variationen der Lichtintensität relativ schlecht wahr. Funktional bedarf es eine Steigerung einer logarithmischen Stufe (x 10) um den Zuwachs an Lichtintensität wahrzunehmen und funktional bessere Leistungen zu erbringen. Eine wahrnehmbare und messbare Steigerung der Lichtintensität sollte also wenigstens einer logarithmischen Stufe entsprechen. Der Anstieg von 150 Lux auf 1500 Lux ist für den Menschen subjektiv der gleiche wie von 1500 Lux auf 15.000 Lux. Abb. 21 zeigt die Verteilung der Leuchtdichte im Klassenraum. Zu große Unterschiede können zu einer physiologischen Blendung⁷ führen.

Es soll hier bemerkt werden, dass das Rechenbeispiel eine Beleuchtung zeigt wie sie nur in den Klassenräumen mit der besten Beleuchtung hier in Luxemburg vorkommen.

Rüstet man nun diesen Klassensaal mit genügend Led-Leuchten aus, so stellt man fest, dass die logarithmische Stufung der Leuchtdichtenunterschiede quasi inexistent ist. Alle Schüler genießen eine Beleuchtungsintensität von mindestens 2000 Lux. Die Bandbreite geht von 2000-3600 Lux. Die Led-Leuchten ergeben 164.000

⁶ Die ganze Lichtplanung mit den Detailzahlen kann auf Anfrage nachgereicht werden.

⁷ Eine physiologische Blendung kommt immer dann vor wenn Leuchtdichtenunterschiede zu gross sind.. Sie führen zu einer herabgesetzten Sehschärfe und erklären bei blendungsempfindlichen Menschen sehr oft warum diese Personen, trotz genügender Lichtintensität keine gute Sehschärfe haben und bei schlechter aber homogener Lichtintensität über eine sehr gute Sehschärfe verfügen.

Lumen, was einer Verdreifachung der Lichtintensität gleich kommt.

Da, wie hier dargelegt, technische Fragen und Kostenfaktoren nicht bei der Festlegung der notwendigen Beleuchtungsintensität bestimmend sein sollten, stellt sich nun die Frage welches eigentliche die Beleuchtungsintensität ist welche am vorteilhaftesten für Schule und Unterricht ist und welche Schüler hiervon am meisten Nutzen haben werden.

Im Sinne des Designs für alle wäre es sicherlich für viele Kinder mit spezifischen Bedarfen von Vorteil, wenn die Beleuchtung sich der Qualität des Lichtes nicht nur in Bezug auf die Spektralfarben sondern auch in Bezug auf die Intensität und Variabilität der Intensität sowie der Spektralfarben annähern könnte. Wie steht es allerdings um die Bedarfe derjenigen, an welche nicht vordergründig gedacht wird ,wenn wir von Barrierefreiheit sprechen?

Diese Frage ist Ausgangsbasis einer Vielzahl an Studien und Berichten und man kann jetzt bereits sagen, dass alle Forschungsergebnisse sich decken und eine klare Aussage für Entscheidungsträger darstellen.

So hat Mott et al. (2012) in einer Experimentalstudie geprüft in inwiefern die verbale Leseflüssigkeit (ORF, oral reading fluency) wie auch die Konzentration (d2 Test of concentration) sich in Funktion verschiedener Beleuchtungsintensität verändern. In 4 Experimentalklassen, in denen der Klassendurchschnitt der Leseflüssigkeit, dem des nationalen Durchschnitts entspricht, wurde während eines ganzen Kalenderjahres in zwei unterschiedlichen Beleuchtungssettings unterrichtet. In 2 von 4 Klassen wurde die Beleuchtung auf 1000 Lux und 6500°K angepasst. In den zwei Kontrollklassen wurde mit einer Beleuchtung von 500Lux und 3500°K unterrichtet. Wegen der kleinen Fenster war der Einfluss des Tageslichtes minimal.

Die Steigerung der Leseflüssigkeit (WCPM: words read correctly per minute) in der Experimentalgruppe (+34 Punkte) lag im Vergleich zu der Steigerung der Leseflüssigkeit in der Kontrollgruppe (+18 Punkte) (Mott et al., 2012, S.6) signifikant höher.

Bartenbach (2009, 117-119) hat zu dem Thema Psychophysiologie der visuellen Wahrnehmung, Kontrast und Sehleistung in Funktion der Leuchtdichte des Umfeldes untersucht. Im Kontext der Wahrnehmung eignet sich diese letztere besser als die Beleuchtungsintensität um den Einfluss des Lichts auf unsere Sehschärfe zu ermitteln. Bartenbach hat jedoch interessanterweise auch die Bandbreite der visuellen Sehschärfe in Funktion des ermittelten Kontrastes⁸, dargestellt.

Dies ist sehr wichtig, da gerade in Schulen dem Kont-

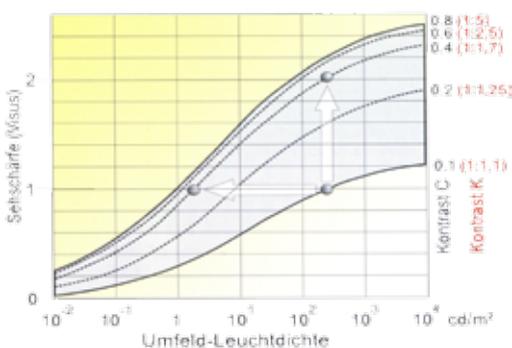


Abb. 27. Kontrast und Sehleistung aus Bartenbach C. (2012, S. 118)



Abb. 23. Farben auf schwarzer Tafel bei 150 Lux



Abb. 24. Farben auf schwarzer Tafel bei 350 Lux



Abb. 25. Farben auf schwarzer Tafel bei 700 Lux



Abb. 26. Farben auf schwarzer Tafel bei 1000 Lux

⁸ Ein Kontrast zwischen zwei Flächen entspricht hier dem Quotienten von Differenz der beiden Leuchtdichten und der Summe der beiden Leuchtdichten. Er kann maximal 1.0 betragen und minimal 0,0.

rast recht wenig Beachtung geschenkt wird. In den unteren Klassen wird sehr viel mit Farben gearbeitet und diese stellen auf verschiedenen Hintergründen (z. Bsp rot auf schwarzer Tafel) einen enorm schlechten Kontrast dar. Dieser Wirklichkeit in der Schule wird beim Augenarzt nicht Rechnung getragen, so dass einige Schüler durchaus unauffällig beim Augenarzt sein können, jedoch beträchtliche Schwierigkeiten in der Schulen bei ungenügender Beleuchtung und schlechten Kontrasten aufweisen. Tatsächlich regelt die Norm DIN EN ISO 8596, 2009 die Beleuchtungsbedingungen bei der Testung beim Augenarzt. Diese sieht für das Prüffeld des Sehtests eine Leuchtdichte zwischen 80-320cd/m² vor und das bei Testzeichen welche einen optimalen Kontrast von schwarz auf weiß aufweisen (also nahe 1.0). Dies entspricht nur selten der Realität im Klassengeschehen.

Schüler welche beim Augenarzt mit 320cd/m² und bei bestmöglichem Kontrast und bestmöglicher Korrektur mit einer Sehschärfe von 0,8 evaluiert worden sind, sind in der Klasse bei einer Leuchtdichte von 100 cd/m² (welche bei ungeeigneten dunkeln Oberflächen und einer normgerechten Lichtintensität von 500 Lux durchaus möglich sind) bei niedrigen Kontrasten (0,1 dunkelgrün auf grüner Tafel) und in der Ferne (hinter in Klassensaal) sehbehindert. Sie werden die Tafelanschrift nicht sehen sondern bestenfalls erkennen, also deuten können. Die Abb. 23 - Abb. 26 veranschaulichen sehr gut inwiefern die Helligkeit schwache Kontraste nicht mehr wahrnehmbar sein lässt.

Die angegebene Beleuchtungsintensität entspricht immer derjenigen wie sie auf der Tafel (vertikale Ebene) gemessen wurde.

Man sollte nur nicht meinen, dass es sich hier um Einzelfälle handelt. Tatsächlich haben bereits bis zu 10% aller 3-4-jährigen bei der Einschulung eine pathologische Sehschärfe (<0,7) (Mirzakhani, 2008, S.56). Dies würde ungefähr dem unteren Bereich der Sehschärfe (16%) außerhalb einer Standardabweichung der Normalverteilung entsprechen (siehe Abb. 11). Ein vom Robert Koch (2007) Institut erstellter Bericht zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen im Bundesland Schleswig-Holstein gibt zu bedenken:

„Die häufigste Gesundheitsstörung bei Schuleingang ist im Bundesland weiterhin die Herabsetzung der Sehschärfe (1999: 23,5 %, 2002: 22,0 %, 2003: 20 %, 2004: 20,2 %, 2005: 19,1 %)“ (ebd. S. 45)

Schüler welche eine Sehbehinderung haben sind in der Regel auf eine ausgezeichnete Beleuchtung angewiesen um im Unterrichtsgeschehen mit optischen Hilfsmitteln visuelle Inhalte zu erfassen. Hiermit ist nicht nur die Tafelabschrift gemeint sondern auch das Erfassen aller zwischenmenschlichen non-verbalen Inhalte, welche wesentlich zum Verständnis von Sprache und Kommunikation beitragen. Cornelissen et al. (1994) haben in einer Experimentalstudie mit Schülern und Erwachsenen mit einer Sehbehinderung versucht heraus zu finden, mit welcher Beleuchtungsintensität die besten Ergebnisse für Buchstabensehschärfe, Lesesehschärfe und Kontrastempfindlichkeit zu erzielen sind.

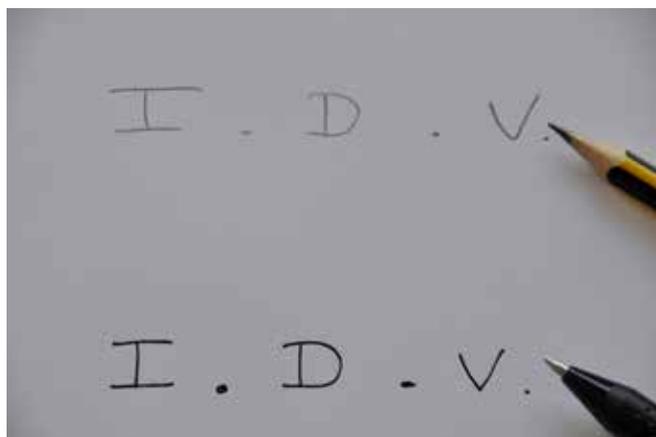


Abb. 28. Die Farbe beider Stifte kann mit dem Radiergummi gelöscht werden. Der untere Stift jedoch ergibt einen viel besseren Kontrast und ist für viele Schüler in der Klasse sehr nützlich und manchmal unentbehrlich wenn sich die Sehschärfe links in der Darstellung der Normalverteilung der Sehschärfe befindet.

Außerdem war Ihnen daran gelegen herauszufinden, mit welcher Beleuchtungsintensität sie sich am wohlsten fühlten. In einem zweiten Experiment wollten sie in Erfahrung bringen, in wie weit die Fähigkeit reale Gegenstände in einem Raum zu erkennen sich in Funktion steigender Beleuchtungsintensität verändert. Es wird kaum erstaunen, dass alle Ergebnisse der Erwartungshaltung des Lesers entsprechen. Auch Menschen ohne Einschränkungen der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit können mit intensiverer Beleuchtungsintensität visuell besser arbeiten. Bei Menschen mit einer Sehbehinderung hingegen, ist der Mehrwert um so bedeutender. Für viele

Formen der Sehbehinderung ist tatsächlich eine Beleuchtung von 5000 Lux ein Segen (vgl. Cornelissen, 1994). Menschen mit einer herabgesetzten Kontrastempfindlichkeit ($LCS < -\log 2$) jedoch erfahren bei höheren Beleuchtungsintensitäten den kleineren Mehrwert. Hier besteht die Gefahr der Blendung.

Diese vorhergehenden Beobachtungen sollten auch alle eine Wichtigkeit bei der Auswahl der schulischen Utensilien haben. Diese sollten auch im Hinblick auf deren möglichen Kontrast im schulischen Geschehen ausgewählt werden. Hier sind einige Beispiele.

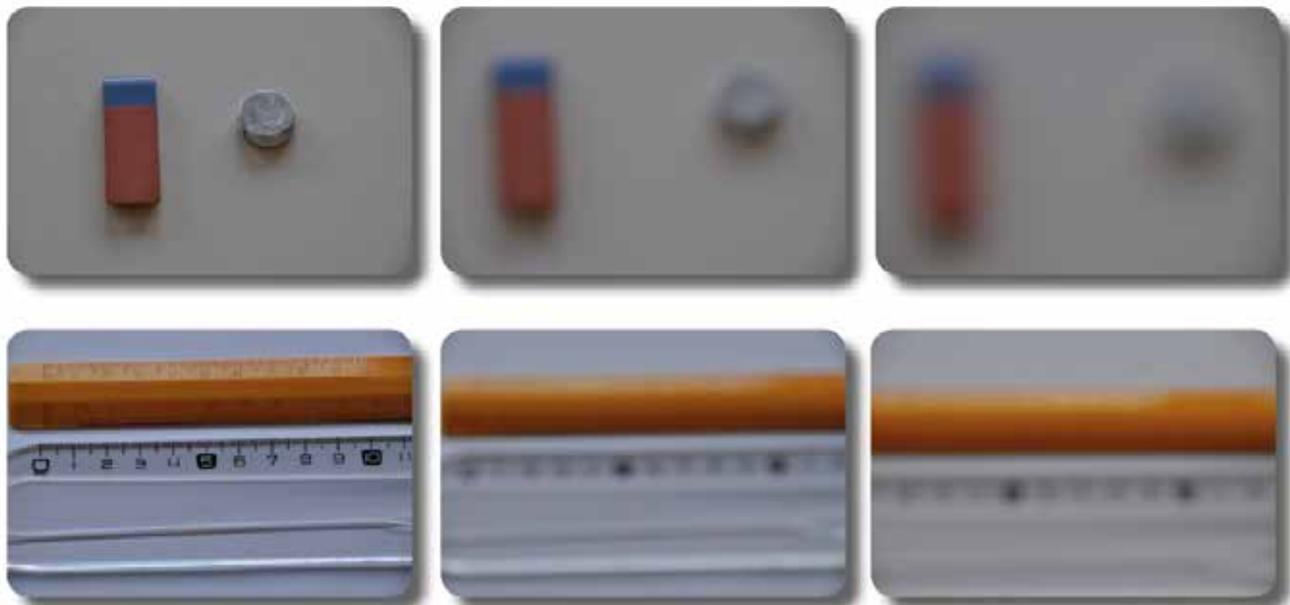


Abb. 29. Ein Radiergummi wird sehr oft im Kontrast zum weißen Papier benutzt. Bei abnehmender Sehschärfe (Photos Mitte und Rechts) verschwindet der weiße Radiergummi und wird unsichtbar. Die schwarze Beschriftung auf dem orangenen Lineal wird ebenfalls mit abnehmender Sehschärfe unleserlich. Die schwarze Abstufung auf dem durchsichtigen Lineal bleibt auch bei sehr schlechter Sehschärfe brauchbar.

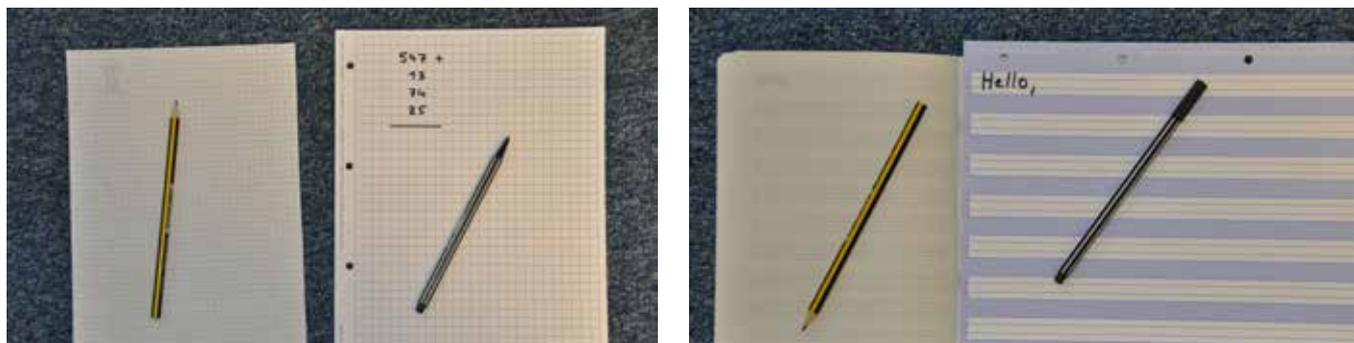


Abb. 30. Lineaturen im Vergleich. Es mag stimmen, dass viele Menschen schwache Kontraste als entspannend empfinden. Viele andere jedoch werden mit unnötigen Herausforderungen visueller Natur vor dem Erfassen des eigentlichen Unterrichtsgegenstand durch Dekodierungsarbeit ermüdet.



Abb. 31. Farben sollen farbig sein. Unsere Wahrnehmung bevorzugt eindeutige visuelle Reize. Wenn Lehrer Hilfsmittel empfehlen sollten sie den Farbstiften links den Vorzug geben.



4.5 Akustik

Es ist erstaunlich, dass bis 2005 alle Studien betreffend Hintergrundgeräusche im Klassensaal schlicht die Tatsache ignorierten, dass die Schüler selbst auch eine Geräuschquelle darstellen. Erst eine Studie von McCarty (2005), zeigte auf, dass bautechnische Standards diese Tatsache berücksichtigen müssen, weil ihre Einflussgröße sehr bedeutend ist. Laut dieser Studie können Schüler, aufgrund des Hintergrundgeräuschs (außen wie innen) und des Nachhalls, 25%-30% dessen was der Lehrer sagt und erklärt nicht verstehen.

Eine mehrjährige Studie der „Orange County Public Schools“ (Gertel et al, 2004) in Orlando konnte nachweisen, dass Schüler welche in einem Klassensaal unterrichtet wurden, der bautechnisch den Anforderungen an Hörsamkeit von Kindern entspricht, 10% höhere Ergebnisse bei standardisierten nationalen Lese- und Mathematiktests erzielten als vergleichbare Schüler in Schulen und Klassenräumen, die diesen Anforderungen nicht entsprachen. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Abwesenheitsrate der Lehrer um 25% zurückging. Es wurde ferner festgestellt, dass die Anzahl der Zwischenfälle, welche disziplinarischer Natur sind um 40% zurückging. Dieser dramatische Rückgang wurde damit erklärt, dass die Schüler es besser vermögen sich zu konzentrieren und bei der Aufgabe zu verweilen.

Earthman et al. haben 1998 eine Literatursichtung herausgegeben in der sie betreffend Akustik folgende drei Ergebnisse hervorhoben:

- Bessere Schulresultate werden dort erzielt, wo die Störgeräusche von außen am niedrigsten sind;
- Störgeräusche von außen verursachen eine höhere Unzufriedenheit bei den Schülern
- Extreme Störgeräusche verursachen bei den Kindern Stress.

Eine Veröffentlichung von Connolly et al. (2015) befasste sich mit der subjektiven Wahrnehmung der akustischen Umgebung in der Schule von 11-16-jährigen Schülern. 2588 Schüler mussten bei 93 Fragen angeben in wie weit verschiedene akustische Gegebenheiten in verschiedenen Schulsituationen und Schulräumlichkeiten akzeptabel bis inakzeptabel waren. Eine besondere Aufmerksamkeit galt den Schülern mit zusätzlichem Lernbedarf (additional learning needs), den Schülern welche Englisch als Zweitsprache benutzen sowie den Schülern mit einer Hörschädigung.

Es war erkennbar, dass die Schüler verlässlich feststellen können welche akustische Gegebenheiten störend sind und unter welchen Bedingungen es sich am besten lernen lässt (Connolly, 2015, S. 3119). Schüler mit Hörschädigung, mit zusätzlichem Lernbedarf oder Schüler welche Englisch als Zweitsprache benutzen, sind besonders Leidtragende wenn Störgeräusche von Außen die Akustik im Klassensaal beeinträchtigen.

4.5.1 Grundlagen

Die DIN 18041⁹ definiert sehr genau wie die Akustik eines Klassenraums geartet sein muss um den Anforderungen der Hörsamkeit in Räumen zu entsprechen.

Die Hörsamkeit als akustische Eigenschaft eines Raumes wird in dieser DIN Norm folgendermaßen definiert:

„Eignung eines Raums für bestimmte Schalldarbietungen, insbesondere für angemessene sprachliche Kommunikation und musikalische Darbietung an den für die Nutzung des Raums vorgesehenen Orten.“

Diese DIN-Norm gibt für alle Arten an Kurs- und Unterrichtsräumen verschiedene, auf die dort ausgeübte Aktivität sowie auf die Größe und Höhe des Raumes angepasste Werte an. So verweist die DIN 18040-1 zum „Barrierefreien Bauen“ hinsichtlich der akustischen Anforderungen auf die DIN 18041.

Laut Nocke (2016) war die Neufassung 2016 der seit geraumer Zeit sehr bewährten Raumakustik-Norm DIN 18041 notwendig, „um Trends der modernen Architektur zu berücksichtigen, aber auch Erfordernisse an die Raumakustik für die Umsetzung der Inklusion im Bereich des Hörens festzuschreiben“.

Zwei wesentliche messbare physikalische Eigenschaften eines Raumes, welche am besten Aufschluss über die

⁹ Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise zur Planung (Version 2016)

Hörsamkeit eines Raumes Aufschluss geben, sind die Nachhallzeit und das Ratio Signal/Umgebungsgeräusche.

4.5.2 Nachhallzeit

Unter Nachhallzeit versteht man laut Wikipedia:

Die Nachhallzeit T_{60} oder auch einfach T , im Englischen meist reverberation time RT , ist die bekannteste Kenngröße der Raumakustik. Unter der Nachhallzeit versteht man das Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf einen Bruchteil, bei T_{60} auf den tausendsten Teil, seines Anfangswerts abfällt, was einer Abnahme des Schalldruckpegels von 60 dB entspricht (Wikipedia, Nachhhallzeit).

Einfach ausgedrückt, gibt die Nachhallzeit den Zeitraum an, den ein Schallereignis braucht, um in einem Raum unhörbar zu werden. In Kirchen und großen Hallen kann dieses Echo eines Geräusches einige Sekunden andauern ehe es erloschen ist. Dieser indirekte Schall sollte wenn-möglich sehr klein gegenüber dem Direktschall ausfallen, der die eigentliche Informationsquelle darstellt und auch der Orientierung dient.

Die Nachhallzeit ist wie gesagt physikalisch messbar und deren Sollwert ist abhängig von der Höhe und dem Volumen eines Raumes. Dieser Sollwert soll laut DIN 17041 für Klassenräume von 60-70m² und bis zu 3 m Höhe unter 0,4 s liegen. Damit würde er auch den Ansprüchen von Kindern mit eingeschränktem Hörvermögen und von Kindern welche eine Fremdsprache erlernen, entsprechen (Ruhe, 2008; Maue, J. 2014,Seite 3-5).

Je besser Wände und Decke den indirekten Schall absorbieren, um so weniger Reflexionen von Schallwellen entstehen. Die Höhe des Raumes ist auch eine wesentliche Einflussgröße des Nachhalls. Je höher der Raum desto länger der Nachhall.

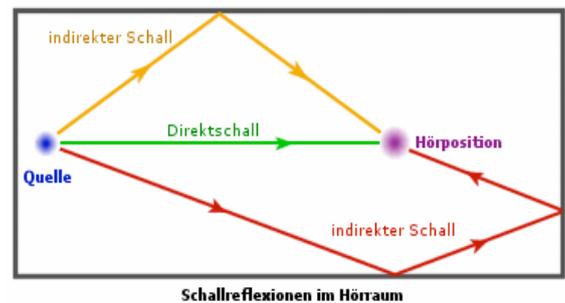


Abb. 32. Indirekter Schall in geschlossenen Räumen

4.5.3 Störgeräusche

Als Umgebungsgeräusch bezeichnen wir die Summe aller Geräusche die nicht als Signalquelle dienen. Diese beinhalten im Klassenraum sowohl alle externen Geräusche (Flugzeuge, Straßenlärm, außenstehende Klimaanlage und Ventilatoren,..) wie auch die Geräusche die ständig im Klassenraum wahrnehmbar sind (Husten, Flüstern, fallende Gegenstände, niedrig-frequentige Leuchtkörper, Öffnen und Schließen von Büchern, Hefen...). Wir können diese Geräusche auch als Störgeräusche bezeichnen.

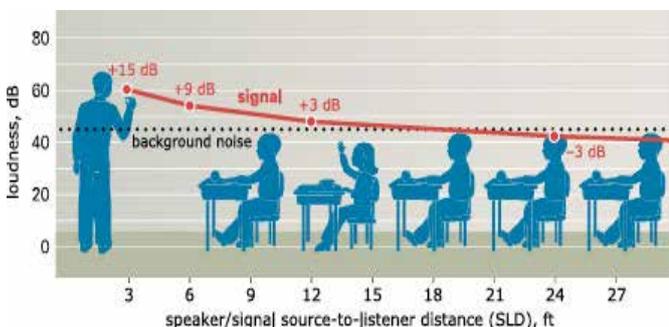


Abb. 33. Folgende Abbildung veranschaulicht wie der Schalldruck sich merklich mit der Distanz abschwächt, während das Umgebungsgeräusch dazu tendiert überall im Raum konstant zu bleiben. Der Abbau des Schalldrucks gehorcht dem Gesetz des umgekehrten Quadrates, so dass die Schallintensität umgekehrt proportional zum Quadrat der Distanz zur Signalquelle ist.

Dockrell et al. (2008) untersuchten in einer Experimentalstudie mit 158 8-jährigen Schülern in 16 Schulklassen den Einfluss der Umgebungsgeräusche auf die schulische Leistungen dieser Schüler. Um standardisierte Resultate zu erzielen, maßen sie den Schallpegel von 142 Schulen in London und vergewisserten sich, dass die ausgewählten 16 Klassensäle der Studie alle gefundenen Muster an Schallpegel in London widerspiegelten.

Die Schüler mussten standardisierte Tests in Schreiben, Lesen, Rechtschreibung, Mathematik, Englisch und na-

turhistorischen Fächern unter verschiedenen Geräuschbedingungen absolvieren. 24% der Schüler waren vorher als Kinder mit spezifischem Förderbedarf identifiziert worden.

Es stellte sich heraus, dass alle Schüler schlechter bei den Tests abschnitten, bei denen der Schalldruck durchschnittlich 65 DB entsprach. Dies entspricht in etwa der Lautstärke die in einem Klassenraum gemessen werden, wenn Schüler individuell arbeiten und bei dem durchschnittliche Störgeräusche von außen gemessen werden.

Standardisierte Vergleichsgruppen welche in einem Klassensaal arbeiteten in dem sie ruhig sein mussten, und auf welchen keine Störgeräusche einwirkten, erreichten in fast allen schulischen Fächer Resultate die 15% über denen der Experimentalgruppe lagen. Bei Kindern mit spezifischem Förderbedarf waren die Auswirkungen des gehobenen Hintergrundgeräusches noch beachtlicher. Sie litten besonders unter den ungünstigen Arbeitsbedingungen.

Differentialdiagnostisch konnte auch festgestellt werden, dass jüngere Schüler sich eher von dem allgemeinen Hintergrundgeräusch von außen sowie innen ablenken ließen, wohingegen etwas ältere Schüler sich eher von Spitzen der Schalldrucks beeinflussen ließen (Sirenen, Lastwagen oder vorbeifahrende Motorräder) (ebd.).

Bauliche Maßnahmen welche den Einfluss äußerer Geräuschquellen entgegenwirken (Schallisolierung) und Überlegungen Schulen in weniger aktivitätsreichen Umgebungen anzusiedeln, sollten unbedingt bei der Planung neuer Schulen berücksichtigt werden,.

4.5.4 Signalgeräusch versus Umgebungsgeräusche

Der Unterschied zwischen dem informationstragenden Signalgeräusch und dem Hintergrundgeräusch sollte bei Kinder unter 12 Jahren bei mindestens 15 DZ liegen. Erwachsene können unvollständige akustische Informationen relativ gut ergänzen wohingegen gerade Kinder und Jugendliche stark durch Störgeräusche in der akustischen Wahrnehmung beeinträchtigt sind.

Es ist ersichtlich, dass die Lehrer, um diesem Anspruch gerecht zu werden, ihre Lautstärke an die Umgebungsgeräusche anpassen müssen. Sollte letztere bei durchschnittlichen 65 DZ liegen (Shield et al, 2004), so müsste der Schallpegeldruck der Stimme des Lehrers 80 DZ erreichen. Hier würde die Lehrkraft über den üblichen Bereich des Schalldruckpegel hinaus gehen, in welchem Sprache normalerweise stattfindet (siehe Abb. 34). Dies führt zur Ermüdung beim Lehrer.

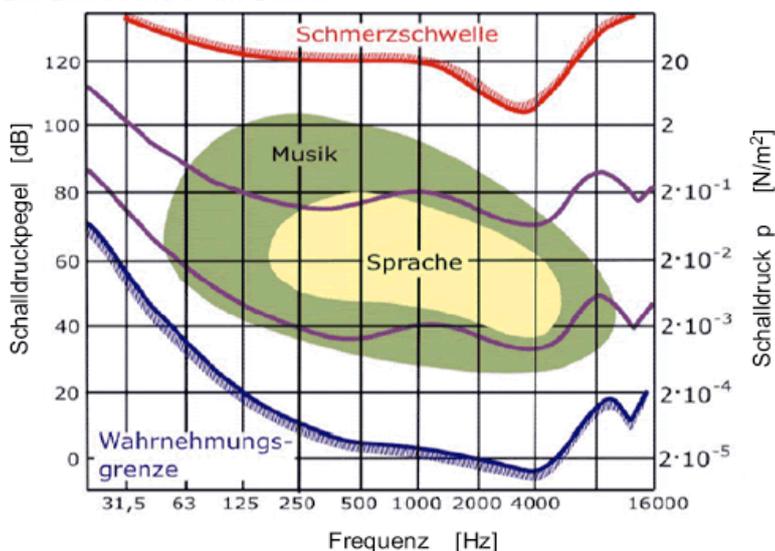


Abb. 34. Schallpegel-Frequenz-Diagramm für Sprache und Musik

Klatte et al (2009) konnten in einer Studie 2009 nachweisen, dass das Anweisungsverständnis von Erstklässlern sich um 25 % verschlechtert „wenn im Hintergrund in Zimmerlautstärke (55db(A)) eine weibliche Stimme zu hören war, die in einer für die Kinder unverständlichen Sprache einen Text vorlas (ebd.). Bei Geräuschen von außen gleichen Pegels konnten dieser Effekt nicht beobachtet werden. Die Autoren halten auch fest, dass „jüngere Kinder und Kinder mit Lernschwierigkeiten oder nicht deutscher Muttersprache“ (ebd.) besonders betroffen sind.

Es liegt also im Interesse aller, der Lehrer, der Schüler wie auch der Schüler mit spezifischen Förderbedarfen, dass den Ansprüchen einer gutem Raumakustik genüge getan wird. Die Din 18041 ist gerade im Kontext der Umsetzung der Inklusion 2016 angepasst worden. Die Richtlinien sollen eben den Bedarfen aller Beteiligten Rechnung tragen. Nicht nur die schulischen Leistungen sind durch ungenügende Akustik beeinträchtigt. Daraus resultierende negative gesundheitliche Folgen wurden ebenfalls vielfach dokumentiert. Einen guten Überblick hierzu kann der interessierte

Leser sich bei Schick et al.(2000) verschaffen. Diese haben in einer Literatursichtung alle hierzu relevanten Studien zusammengetragen.

4.5.5 Lombard-Effekt

Wikipedia definiert den Lombard-Effekt folgendermaßen:

„Wegen des Bedürfnisses, sich bei einem hohen Umgebungsgeräuschpegel dem Gesprächspartner trotzdem mitzuteilen, erhöht ein Sprecher nicht nur seine Lautstärke, sondern unwillkürlich auch die Tonhöhe seiner Stimmlage. Eine Erklärung dafür ist, dass sich hohe Frequenzen besser gegen Störschall durchsetzen als tiefe. Doch nicht nur bei einer eingeschränkten sozialen Rückkopplungsschleife wird der Sprecher lauter und höher, sondern auch, wenn seine eigene Rückkopplung beispielsweise durch das Tragen von Gehörabdeckung behindert wird.[2] Dabei erhöhen sich gleichzeitig die Wortdauer und die Aussprachefrequenzen deutlich“ (Seite „Lombard-Effekt“. In: Wikipedia).

Es besteht also auch ein direkter Zusammenhang zwischen Halligkeit in einem Raum und Störschall. Um die Lernenden besser zu erreichen sprechen die Lehrkräfte lauter. Aber auch die Lernenden sprechen lauter. „Die daraus resultierende Unruhe und der höhere Grundgeräuschpegel führen wiederum dazu, dass noch lauter gesprochen wird und sich der Schalldruckpegel immer weiter in die Höhe schraubt“ (Maue, 2014, S.5).

Durch entsprechende raumakustische Maßnahmen lässt sich laut Maue (ebd.) eine Pegelminderung von 10db erreichen, welche subjektiv als Halbierung der Lautstärke wahrgenommen werden kann.

4.5.6 Maßnahmen zur Verbesserung der Raumakustik

Man kann im Internet eine Vielzahl an kostenlosen Raumakustikrechner finden. Alle großen Baumaterialienhersteller und Zulieferer bieten einen solchen an. Schulen können sich somit sehr schnell einen groben Überblick über die Akustik Ihres Klassenzimmers erstellen. Sie können mit verschiedenen Absorbern experimentieren und

herausfinden wie und mit welchen baulichen Maßnahmen eine wesentliche Verbesserung der Raumakustik herbeigeführt werden kann. Bei der Vorbereitung von Gesprächen mit Architekten oder Schulträgern kann dies einen wesentlichen Vorteil darstellen. Bei Anfragen für bauliche Maßnahmen im Kontext einer Nachbesserung eines Klassenzimmers oder einer Schule, welche eine unzufriedenstellende Raumakustik aufweist, können Fakten auf den Tisch gelegt werden. Raumakustiker können immer noch einen Feinabgleich der Daten bewerkstelligen und die erste grobe Evaluation des Lehrers verfeinern.

Fast alle Raumakustikrechner basieren auf der Din Norm 18041 und geben den Laien an, in wieweit die angegebenen Informationen zu dem Raum den Anforderungen der DIN 18041 entsprechen. In dem Beispiel der Abb. 35 wird die Oberfläche des Triakustik-Raumakustikrechners abgebildet. Für die Nutzung wurde „Schule: Klassenzimmer., Unterrichtsraum“ ausgewählt. Bei der Planung wurde „Mit Inklusion von Personen mit Hörein-



Abb. 35. Triakustik-Raumakustikrechner

schränkung“ ausgewählt. Man gibt dann die Maßen und die vorhandenen Baumaterialien ein und kann dann die entsprechenden Absorber wählen welche es ermöglichen die geforderte Nachhallzeit in Funktion des Frequenzganges auszuwählen. Es werden also keine spezifischen Grundlagen und Kompetenzen in der Akustik vorausgesetzt.

Es gibt mehrere Hebel um den Hintergrundschalldruck merklich zu senken.

- Beim Schulneubau sollte immer darauf geachtet werden, diese fernab von dichtem Straßen- oder Eisenbahnverkehr oder ab von Flugschneisen zu bauen;
- Bei starken Störgeräuschen von außen, sollte die Schalldämmung der Fenster angepasst werden;
- Stuhl- und Tischgleiter sollen vorgesehen werden;
- Klimaanlage und Ventilatoren haben im Klassenraum nichts verloren. Eine aktive Belüftung des Klassensaals ermöglicht auch eine Regulierung der Temperatur, ohne den Hintergrundschalldruck zu erhöhen;
- Bei der Auswahl der Projektionsgeräte soll auf deren Lärmentwicklung geachtet werden;
- Pädagogische Maßnahmen:
 - Die Kinder sollten mit einem Minimum an Arbeitsmaterial umgehen um die Wahrscheinlichkeit von herabfallenden Gegenständen zu reduzieren;
 - Sitzecken welche durch Bücherregale optisch abgetrennt sind, sind ausgezeichnete Rückzugsorte für Gruppenarbeiten bei denen die Kinder untereinander diskutieren, planen und sprechen sollen; andere Schüler welche eine Stillarbeit erledigen werden weniger durch diese Störgeräusche beeinträchtigt;

Um die Nachhallzeit und somit die raumakustischen Verhältnisse im Klassensaal zu verbessern werden in der Regel folgende Maßnahmen getroffen:

- Die Deckenfläche wird mit schallabsorbierenden Akustikplatten bestückt oder gestaltet;
- Die Rückwand des Klassenzimmers (die dem sprechenden Lehrer zugewandte Seite) wird ebenfalls mit schallabsorbierenden Akustikplatten bestückt;

Bei der Auswahl der Akustikplatten sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass diese weiß sind oder aber weiß gestrichen werden können. Ansonsten wären die baulichen Maßnahmen welche zu einer Akustikverbesserung führen, nicht mit jenen vereinbar, welche optimal für eine richtige licht-technische Gestaltung des Klassenzimmers erforderlich sind (siehe hierzu „4.4 Beleuchtung und Farben“ auf Seite 11).

4.6 Luftqualität - Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur

4.6.1 Schadstoffe

Es mag den Leser verwundern, dass die Luftqualität in diesem Kapitel angesprochen wird. Es gibt tatsächlich viele Studien welche belegen, dass eine schlechte Luftqualität vielfältige negative Auswirkungen auf die Schüler und die Lehrer haben.

Schadstoffe in Schulen können sich auch auf das Wachstum von Kindern, ihre Lern- und Leistungsfähigkeit, aber auch auf ihre kulturelle und soziale Entwicklung auswirken (Kephalopoulos et al., 2014)

Die Verfasser der Veröffentlichung SINPHONIE (Kephalopoulos, 2014), verweisen auf die zahlreichen Studien welche in der WHO Veröffentlichungen von 2009 (WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants) zusammengefasst und ausgewertet wurden. Diese Studien bezogen sich zwar nicht ausschließlich auf Schulen, jedoch konnten etliche Leitlinien der Begutachtung und Bewertung von Luftqualität übernommen werden. Außerdem konnte auf die gleichen gesundheitlichen Auswirkungen einer schlechten Luftqualität geschlossen werden.

Die Morbidität von Asthma zum Beispiel liegt über aller Altersstufen hinweg in den einzelnen Länder gleichauf. Durchschnittlich kann man zum Beispiel in der Schweiz, Frankreich, Italien oder Süddeutschland von einer Prävalenz von 7-12% von pfeifendem oder keuchendem Atemzug ausgehen (Kuehni et al. 2002, Seite 421). Was die Inzidenz anbelangt, so kann man feststellen, dass hier ein allgemeiner Zuwachs zu verzeichnen ist. Sehr oft wird die Annahme geäußert, dass hier atopische Asthmaformen dieser Entwicklung zugrunde liegen. Jedoch konnte ebenfalls eine Zunahme der Prävalenz nicht-atopischer Asthmaformen (ebd.) nachgewiesen werden. Eine wie hier festgestellte schnelle Zunahme einer Prävalenz „kann nicht genetisch, sondern nur umweltbedingt sein“ (ebd.), so dass vermehrt auch darauf attribuiert wird, dass es beim Menschen zu einer „vermehrten Reaktion“ gegenüber nicht allergischen Noxen gekommen ist.

Der Europäische Verband zum Thema Asthma und Allergien (EFA) gibt an, dass ungefähr jedes dritte Kind in Europa Asthma oder eine Allergie hat. Jeder Schüler und jeder Lehrer verbringt in der Regel über 800 Stunden im Jahr in der Schule und alle Lehrer und Schüler zusammen machen durchschnittlich 20% der Bevölkerung aus (Franchi 2001, Seite 5,7). Neben der Benachteiligung der Betroffenen muss auch erwähnt bleiben, dass die Kosten gesundheitlicher Vor- und Nachsorge den Haushalt der Krankenkassen sehr stark belasten. Der Bericht der EFA (ebd.) nennt auch als Hauptgrund für den rasanten Anstieg der Anzahl der Betroffenen die modernen Bauverfahren und Baumaterialien. Das sogenannte „Sick-Building Syndrome“ war auch Anlass für das Umwelt Bundesamt für Mensch und Gesundheit einen Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden zu erstellen (Moriske et al., 2008).

Der Europäischen Kommission bewertete die Dringlichkeit dieses Themas derart hoch, dass sie eine großangelegte Studie in Auftrag gab, welche auf schlechte Luftqualität aufmerksam machen möchte und darüber hinaus aufzeigen möchte mit welchen Maßnahmen hier gegebenenfalls Abhilfe geschaffen werden kann. Herausgekommen bei dieser Studie ist der Bericht SINPHONIE (School INdoor Pollution and Health Observatory Network In Europe) welcher ein Leitfaden für eine gesunde Umgebung in europäischen Schulen darstellt (Kephelopoulos et al., 2014) .

Die Vielfalt und Komplexität vieler moderner Baumaterialien macht es darüber hinaus dem einzelnen unmöglich eventuelle einer Noxen auslösenden Quelle auf die Spur zu kommen. Sowohl das Regelwerk SINPHONIE oder der Leitfaden des Bundesumweltamtes (s.o) sind derart komplex, dass sie nur von Fachleuten angewendet und kontrolliert werden können. Es sollte also diesbezüglich Vorsorge und Vorsicht beim Bau und der Renovierung von alten Schulgebäuden walten gelassen werden. Es ist nachweislich keine Selbstverständlichkeit, dass heutige Baumaßnahmen allen Empfehlungen des Leitfadens der Generaldirektion für Gesundheit und Verbraucher der Europäischen Kommission Rechnung tragen.

Es ist zu bedenken, dass neben den Hauptleittragenden, den Kindern und Jugendlichen mit Asthma und mit Allergien, alle anderen Kinder sowie die Lehrkräfte unter einer mangelnden Luftqualität zu leiden haben.

So konnten Rosen et al. (1999) in einer Experimentalstudie signifikant nachweisen, dass die Abwesenheitsrate von Schülern wie vom Lehrpersonal durch die Einführung von elektrostatischen Luftreinigern von 8.31% (Jahr 1) auf 3,75% (Jahr 2) zurückging. Der nachträgliche Ausbau des Luftreinigers ging wieder mit einer erhöhten Abwesenheitsrate von 7.94% (3. Jahr) einher.

4.6.2 CO₂-Konzentration

Im Winter und an kalten Schultagen sowie auch an sehr warmen Schultagen werden viele Klassenfenster geschlossen bleiben. Weder Kälte noch Hitze sollten die Kinder in Ihrer schulischen Aktivität beeinträchtigen. Luftdicht verpackt geht es dann in den Schulalltag. Ebenfalls werden wir auch bei stärkerer Geräuschbelastung die Fenster geschlossen halten weil wie als gut informierte Lehrer wissen, dass die raumakustischen Verhältnisse unter dem Hintergrundschallpegel (s.o.) zu leiden haben und dass diese die Leistung der Kinder folglich mindert.



In diesen Situationen wird die CO₂ Konzentration im Klassenraum zügig **Abb. 36. Luftgüteampe**

ansteigen

Wenn der Lehrer auch nicht direkt auf die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von nicht-allergischen Noxen einwirken kann so ist er gegenüber einer inadäquaten CO₂ Konzentration in der Raumluft weniger ohnmächtig.

Neuere Untersuchungen haben ergeben, dass 20-25 Liter Luft pro Schüler pro Sekunde optimal wären um den CO₂-Gehalt der Luft niedrig zu halten. Minimal sollten jedoch wenigstens 7 Liter Frischluft pro Schüler und pro Sekunde in dem Klassenraum gewährleistet sein. Erhöhte Werte an CO₂ (über 1500 ppm¹⁰) machen uns sehr schnell müde, provozieren Kopfschmerzen, und führen zu einer herabgesetzten Aufmerksamkeit und Konzentration (Myhrvold et al., 1996, S.2). Außerdem konnte Shendell (Shendell et al., 2004) nachweisen, dass Werte über 1000 ppm mit 10%-20% mehr Abwesenheit der Schüler korreliert ($p < 0,05$).

Die DIN-Norm EN 15251 „Eingangsparameter für das Raumklima“ empfiehlt nur 17-30 m³ Frischluft pro Schüler pro Stunde was ungefähr 5-8 Liter Frischluft pro Schüler pro Sekunde entspricht. Eine Luftgütemessung sollte jedenfalls in jedem Klassenzimmer installiert sein. Sie misst ständig die CO₂ Konzentration und zeigt an wann diese zu hoch ist und der Klassenraum belüftet werden soll. Die Luftgütemessungen kosten heute unter 200€ und sind bereits für kleinste Kinder lesbar.

Um die Qualität der Luft bezüglich CO₂ -Werte zu bewerkstelligen sollten folgende Richtwerte vom Lehrer berücksichtigt werden (vgl.: Nachtigall, 2007)

- Bei einem Klassenraum von 180m³ und bei 25 Schülern sollte die gesamte Raumluft binnen 10 Minuten einmal ausgetauscht werden;
- Um dies zu gewährleisten müssen die Fenster mindestens auf Kippstellung stehen und dies während der gesamten Unterrichtszeit;
- Sollte dies nicht möglich sein (Lärmbelästigung, sehr niedrige Außentemperaturen) so sollte in jeder Pause eine Querlüftung bewerkstelligt werden;

Energetische Anforderungen moderner Bauweisen machen sehr oft eine eigenständige Belüftung durch die Fenster unmöglich und verwehren dem Lehrer den Zugriff auf den Belüftungsmechanismus, welcher elektronisch gesteuert ist. Lehrer und Schüler werden nicht mehr nach Bedarf mit Frischluft versorgt sondern eben nur nach standardisierten Richtlinien. Hier wird weniger auf die Qualität der Belüftung acht gegeben als auf energiesparende Effekte.

In der Heschong Mahone Studie von 1999 (Seite 14), welche sich mit dem Einfluss von Tageslicht in den Schulen und dessen Zusammenhang mit schulischen Leistungen auseinandersetzt, konnte nebenbei mit 99% statistischer Wahrscheinlichkeit nachgewiesen werden, dass schulischer Fortschritt um 7-8% höher ist in jenen Klassen, in denen der Lehrer selbst die Fenster betätigen kann im Vergleich zu denen Klassen in denen dem Lehrer dieser Zugriff verwehrt bleibt, dies unabhängig davon ob eine Klimaanlage vorhanden war oder nicht.

Im besten Falle versorgen Belüftungssysteme den Klassenraum mit gefilterter Frischluft. Diese können dank Wärmerückgewinnung viel großzügiger den Klassenraum mit Frischluft versorgen, da die Energie der abgeführten Luft durch einen Austausch auf die frische Luft übertragen wird. In vielen skandinavischen Schulen sind diese Belüftungssysteme in Schulen Standard.

4.6.3 Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit

Sowohl Lufttemperatur wie auch Luftfeuchtigkeit können einen großen Einfluss auf das Wohlbefinden der Schüler und deren schulische Leistung haben. Auch wenn diese Dimension jetzt nicht direkt im Hinblick auf die Barrierefreiheit von Schülern mit spezifischen Bedarfen zurückbehalten werden würde, so möchte ich trotzdem kurz die in der Literatur angegebenen Optimalwerte (Peteres, S., 2014, S.41) für angenehmes Lernen aufzählen:

So soll die Luftfeuchtigkeit zwischen 30% und 55% liegen.

Optimalwerte für die Raumtemperatur sind 20°C bis 22°C.

¹⁰ ppm: parts per million

Wichtig ist hier zu vermerken, dass die Kontrolle dieser Faktoren für befragte Lehrer wesentlich ist.

4.7 Schulinfrastruktur

Die Anfänge des Designs für alle finden sich in der baulichen Barrierefreiheit. Diese ist, wie bereits in der Einleitung angesprochen, in DIN-Normen gegossen und wird vermehrt bei Neubauten von Schulen in Deutschland berücksichtigt.

Einige seien hier erwähnt weil deren Berücksichtigung für alle Kinder von großer Bedeutung ist.

4.7.1 Die schwellenfreie Überwindung von Niveauunterschieden

Diese kann durch „die Anpassung der Geländetopographie oder durch geeignete technische Anlagen (z.Bsp Rampen/Aufzüge) realisiert werden“ (Engelhardt et al., 2015, S.133). Es sei darauf hingewiesen, dass die DIN 18040 hier eine maximale Steigung von 6% für die Rampe vorsieht. Steilere Zugänge sind für Rollstuhlfahrer kaum zu bewerkstelligen. Im Laufe eines Schuljahres kommt es immer wieder vor, dass Kinder wegen eines Beinbruchs auf Krücken angewiesen sind. Auch diese Schüler werden dankbar sein, wenn sie einen barrierefreien Zugang zur Schule haben. Blinde Schüler werden die Vorzüge einer ebenerdigen Begehbarkeit des Schulraums ebenfalls dankend annehmen.

Kann bei einer Schule trotzdem nicht auf Treppen und Stufen verzichtet, so muss unbedingt auf eine stark kontrastierende Stufenmarkierung geachtet werden. Handläufe sollten die Treppennutzer unterstützen. „Diese sollen eine „Stütz-,Halte-und Zugfunktion erfüllen“ ((Engelhardt et al., 2015, S. 137). Ein runder Durchmesser von 3-4 cm ist optimal. Nützlich ist es ebenfalls eine Braillemarkierung am Anfang und am Ende jedes Handlaufs anzubringen. Diese dienen den blinden Schülern als Orientierung.



Abb. 37. Runder Handlauf mit Braillemarkierung

4.7.2 Kontrastierende und blendfreie Böden

Aus Gründen der Hygiene und Unterhaltskosten wird sehr oft auf das beliebte Linoleum für die Bodenbeläge zurückgegriffen. Außer diesen beiden ersten Aspekten hat das Linoleum die sehr unangenehme Eigenschaft, dass es bei direktem Sonneneinfall (Abb. 38) eine Blendung herbeiführt. Die Wahl der Bodenmaterialien muss immer im Einklang mit dem Beleuchtungskonzept gewählt werden. Filter mit streuendem Effekt hätten im Fensterglas eingebaut werden müssen um diese Blendung zu vermeiden. Man hätte hier auch auf dunkle und matte Fliesen zurückgreifen können.



Abb. 38. Blendender Boden ist desorientierend. Matte und dunkle Böden erleichtern die Raumorientierung



Abb. 39. Gestaltung des Flurs im IDV

Festzuhalten ist, dass die natürliche und künstliche Beleuchtung eines Flurs oder eines Klassensaals mit der Auswahl des Bodenbelags abgestimmt werden muss.

4.7.3 Raumindikatoren, Handläufe und stark kontrastierende Orientierungshilfen

Viele Menschen denken sofort an taktile Bodenindikatoren wenn sie einen Schulraum barrierefrei für blinde Schüler gestalten möchten.

Es handelt sich hierbei jedoch um eine Infrastrukturmaßnahme welche im Innenleben des Schulgebäudes eher zweitrangig ist. Die Orientierung und Mobilität gelingt Schülern welche sehbehindert oder blind sind recht gut wenn sie auf Handläufe und visuelle Markierungen an der Wand zurückgreifen können. Farbliche Kodierungen der Klassentüren helfen darüber hinaus den aufgesuchten Raum schneller zu finden. In größeren Schulgebäuden können blinde Schüler sich ebenfalls mit dem Blindenstock fortbewegen.

4.7.4 Behindertentoilette

Es ist ein Irrglauben anzunehmen, dass eine Behindertentoilette über einen gesonderten Eingang verfügen soll. Sie soll an den gleichen Waschbereich wie die Toiletten der anderen Mitschüler anschließen. Ein separater Toilettenvorraum für Schüler mit einer körperlichen Einschränkung ist nicht mit den Prinzipien der Inklusion vereinbar (Schmidtlein-Mauderer et al., 2013, S.228)

4.7.5 Türen

Türen aus Vollglas ohne kontrastierende Warnhinweise sind eine Gefahr für viele Schüler mit visuellen Einschränkungen wie aber auch für unvorsichtige oder abgelenkte Schüler.

Selbst aufschwingende Glastüren stellen außerdem eine Gefahr für Schüler mit eingeschränkter Reaktionsfähigkeit da. Sie können diesen Schüler gegen das Gesicht schlagen wenn sie sich auf der falschen Seite befinden.

Für Rollstuhlfahrer sind sie ein echter Segen, für Kinder mit anderen Einschränkungen stellen sie eine Gefahr dar. Brandschutztechnisch müssen manchmal Zwischentüren vorgesehen werden. Es sollte also im Einzelfall im Gespräch mit Sicherheitsbeauftragten, Architekten und Lehrern geklärt werden, wie den Bedarfen der Schüler entsprochen werden kann.

4.8 Zugänglichkeit von Dokumenten und Webinhalten

Zur Barrierefreiheit von Webinhalten gibt es sehr viel Literatur, wohingegen recht wenig zur Barrierefreiheit von Schulen und Schulklassen zu finden ist. Wie schon oben beschrieben, sollten Überlegungen betreffend Zugang zu Information sich nicht am Standard „Barrierefreiheit“ orientieren sondern sollten vielmehr die Perspektive des „Designs für alle“ berücksichtigen. Im Prinzip sollten Dokumente und digitale Inhalte von vornherein so konzipiert und aufgebaut sein, dass sie für alle Menschen zugänglich sind. Weder die benutzte elektronische Plattform noch das gewählte Bildschirmformat sollten den Nutzer mit Einschränkungen bestrafen.

Design für alle sollte beachten, dass die Inhalte so aufgearbeitet sind, dass eine Nutzung weder spezifische intellektuelle Voraussetzungen erfordert und allen auch in digitaler Kommunikation unerfahrenen Mitmenschen zugänglich ist.

Der Zugang zu analogen Inhalten ist für Menschen mit einer Sehbehinderung oder Menschen welche blind sind, sehr problematisch.

Digitale Medien hingegen können im Prinzip zugänglich sein, wenn bestimmte Prinzipien und Regeln beachtet werden (siehe hierzu „1. Einleitung“ Seite 5). Da diese Richtlinien den Anspruch erheben, dass durch deren Anwendung bei der Aufarbeitung von Webinhalten diese barrierefreier sind, ist für den Leser ersichtlich, dass es sich eigentlich nur um eine bestmögliche Form der Aufarbeitung handelt und dass durchaus verschiedene Barrieren welche durch kognitive, neurologische, motorische, visuelle oder auditive Beeinträchtigungen bedingt sind, nicht ganz aufgehoben werden können.

Die Menschen welche blind oder sehbehindert sind, sind die größten Nutznießer der, durch das W3C-Konsortium¹¹ veröffentlichten Richtlinien (WCAG 2.0) zur barrierefreien Gestaltung von Webinhalten. Im Prinzip ist für Menschen mit Blindheit die digitale Kommunikation eine Bereicherung in dem Sinne, dass sie an neuen Formen der Kommunikation in sozialen Netzwerken gleichberechtigt teilnehmen können. Im Prinzip, würde Ihr Gegenüber kaum wahrnehmen können, dass sie keinen visuellen Zugang zu den Kommunikationsinhalten

¹¹ Weitere Informationen zum W3C Konsortium können auf folgender Internetseite abgerufen werden: : <https://www.w3.org/WAI/intro/wcag>.

haben sondern sich diese mit Zugangssoftware und Zugangshardware erschließen. Braillezeilen, Vergrößerungsprogramme, Sprachsynthese und Spracherkennung haben in ihrem Alltag Einzug genommen. Sie können diese Internetinhalte sowohl auf mobilen Geräten (Smartphone), wie auf Tablets oder Computern „visualisieren“ und verfügen damit über einen fast gleichberechtigten Zugang zu all den entsprechenden Inhalten. Banküberweisungen, aktuelle Nachrichten, soziale Netzwerke, Kurznachrichten und Emails stellen auch kein Problem mehr dar. Einkaufen im Internet sowie das Abwickeln von administrativen Anfragen ist im Prinzip auch möglich.

Der WCAG 2.0 Norm für die barrierefreie Gestaltung von Webinhalten entspricht der PDF-UA (PDF-UA, 2017) Standard für die barrierefreie Gestaltung von PDF-Dokumenten. Der Standard PDF-UA der PDF-Association entspricht dem ISO 14289 Standard für barrierefreie PDF-Dokumente und PDF-Formulare .Nutzer welche darauf angewiesen sind, sich Dokumente mit einer Sprachsynthese vorlesen zu lassen, sind darauf angewiesen, dass die Inhalte in einer logischen Reihenfolge angewiesen werden und das Grafiken,Bilder oder Tabellen über einen alternativen Text verfügen. Viele weitere Aspekte müssen bei der barrierefreien Gestaltung von PDF-Dokumenten befolgt werden. Eine wesentliche Komponente von barrierefreien PDF's ist das „Tagging, welches es ermöglicht „Seiteninhalte mit logischer Struktur und semantische Informationen zu versehen... Jeder Inhalt muss mit den korrekten semantischen Tags ausgezeichnet sein, und die hierarchische Tag-Struktur muss die logische Lesereihenfolge des Dokuments abbilden.“ (PDF Association, o.J.).

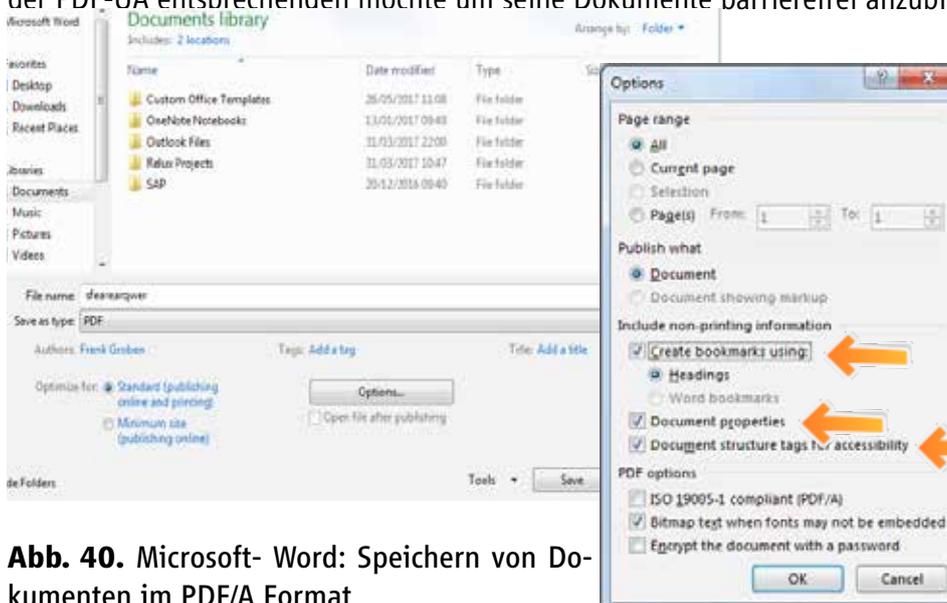
Die wichtigsten der hier angesprochenen Strukturelemente (Tags) sind die Formatierungsstile. Überschriften, Fußnoten, Standardtext, Abbildungs-und Bildbezeichnungen sollten alle entsprechende Formatierungsstile zugewiesen werden. Ausserdem sollten Listen als solche mit den Standard-Hilfsmittel von Word gekennzeichnet werden.

Die PDF Association veröffentlicht im August 2013 das Matterhorn-Protokoll (Matterhorn-Protokoll, 2016) als verbindlichen Prüfkatalog für barrierefreie PDF-Dokumente und -Formulare.

Das Matterhorn-Protokoll wurde entwickelt, um die Einführung von PDF/UA in der Praxis zu fördern. Es besteht aus 31 Prüfabschnitten, die sich aus 136 einzelnen, präzise definierten Fehlerbedingungen zusammensetzen. Dies erleichtert Software-Herstellern erheblich die Entwicklung von Programmen für die Erstellung und Überprüfung PDF/UA-konformer PDF-Dateien und -Formulare (ebd).

Das heute am meisten benutzte Werkzeug, das es erlaubt eine komplette Überprüfung des Matterhorn-Protokolls zu erstellen ist das PAC 2 (PDF Accessibility Checker, Version 2), welches bei der Stiftung „Zugang für alle“ gratis herunter geladen werden kann (<http://www.access-for-all.ch/en/pdf-lab/pdf-accessibility-checker-pac.html>).

Damit ist natürlich IT-Spezialisten wie auch Software Herstellern geholfen wie aber verhält es sich mit dem Normalverbraucher, welcher nicht über informationstechnische Grundlagen verfügt aber trotzdem den Richtlinien der PDF-UA entsprechenden möchte um seine Dokumente barrierefrei anzubieten?



Viele Software-Hersteller bieten mittlerweile Tools und Funktionen in ihrer Software an, welche es ermöglichen, barrierefreiere PDF's zu erstellen.

Microsoft-Word

So kann man unter Microsoft-Word PDF's im Format PDF-A abspeichern. Dieses Format entspricht zwar ISO 19005-1 (PDF-A1) welche eine eindeutige visuelle Reproduzierbarkeit und eine Barriere-

Abb. 40. Microsoft- Word: Speichern von Dokumenten im PDF/A Format

freiheit, in dem Sinne, dass blinde Benutzer sich über einen Screenreader den Text vorlesen lassen können, garantiert, jedoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Benutzer das Dokument derart fachgerecht aufgearbeitet hat, dass eben gerade diese visuelle Reproduzierbarkeit im PDF Layout nachher noch gegeben ist. Diese Option sollte nur in sehr spezifischen Situationen gewählt werden. Vielmehr sollte der Benutzer die Optionen „Create bookmarks using headings“, „Document properties“ und „Document structure tags for accessibility“ auswählen (in Abb. 40 mit orangen Pfeilen markiert).

Es ist ebenso unerlässlich, dass alle Grafiken, Bilder, Logos, Karten und weitere graphische Veranschaulichungen über einen alternativen Text verfügen, der es dem blinden Benutzer und Leser ermöglicht, die visuelle Darstellung am Bildschirm auf der Braillezeile lesbar darzustellen.

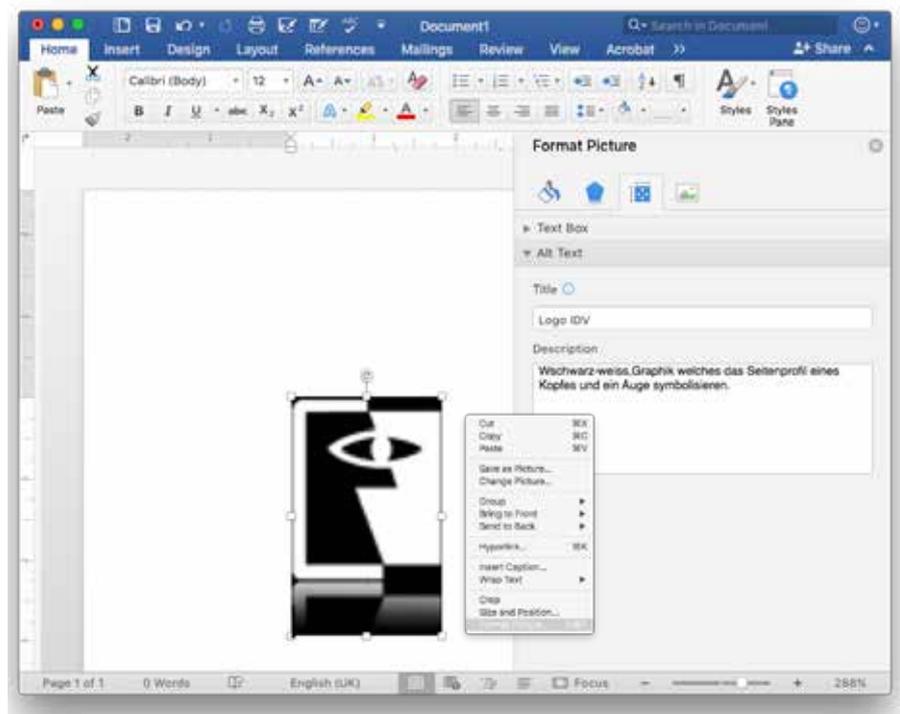


Abb. 41. Festlegen von alternativem Text unter Microsoft Word

Man positioniert den Zeiger auf das zu „taggende“ Bild und öffnet das Kontextmenü mit einem rechten Mausklick. Der Menüpunkt „Format Picture“ erlaubt das Festlegen eines alternativen Textes (Titel und Beschreibung)(Abb. 41).

Dies wird jedoch nicht genügen um den Ansprüchen der PDF-UA zu entsprechen. Der Benutzer von Word muss außerdem etliche Vorarbeiten in Word beachten. Eine Veröffentlichung der Fern-Universität in Hagen (Vogeler et al, 2014) zeigt auf 3 Seiten ganz übersichtlich, welche Aspekte hier zu berücksichtigen sind.

Vorbereiten in Word

Als Basis für ein barrierefreies Dokument dient ein formatierter Text, der mit Word auf einem Windowsrechner editiert wird.

Generelle Herangehensweise in Word - Die wichtigsten Schritte

1. **Strukturieren Sie Ihr Dokument** (Text inhaltlich logisch gliedern)
2. **Formatieren Sie Ihre Textelemente korrekt** mit den dafür vorgesehenen Formatvorlagen, wie Überschriften, Standard, Liste, Tabelle.
 - o **Überschriften und Unterüberschriften verwenden.**
Diese sind für die Erstellung der Lesezeichen und des Inhaltsverzeichnisses im PDF enorm wichtig! Dabei die richtige Hierarchie beachten (Überschrift 1, Überschrift 2, Überschrift 3)
 - o **Fließtext** mit der Formatvorlage **Standard** formatieren
 - o **Listen/Aufzählungen** als **Liste bzw. Aufzählungen** formatieren
 - o **Tabellen** möglichst einfach strukturieren
 - o **Tabelleneigenschaften** - Kopfzeile aktivieren und über Tabelleneigenschaften "Gleiche Kopfzeile auf jeder Seite" wiederholen
3. Vergeben Sie eine **automatisierte Seitennummerierung** (Einfügen > Seitenzahl)
4. Erzeugen Sie **automatische Verzeichnisse** unter Verweise
5. Wichtige Informationen nicht in **Kopf und Fußzeilen** unterbringen. Diese nicht zu lang formulieren.
6. **Sonderzeichen** müssen **UTF-8** konform sein

Farben, Kontraste und Schriftgestaltung

1. Kontraste zwischen Schrift und Hintergrund ausreichend anlegen (z.B. keine gelbe Schrift auf weißem Grund)
2. Keine Rot-Grün Kombinationen verwenden, da viele Leser/innen eine Rot-Grün Schwäche haben.
3. Inhalte nicht nur über Farbe transportieren. Das heißt z.B., dass die besondere Bedeutung einer roten Kennzeichnung nicht zuverlässig dargestellt oder wahrgenommen wird.
4. Vermeiden Sie Leerzeilen und Leerzeichen. Einzüge und Absätze können über die jeweilige Formatvorlage gesteuert werden.
5. Serifenlosen Schriftarten (z.B. Arial, Verdana, Calibri) verwenden, da diese einfacher wahrzunehmen sind.
6. Wenden Sie linksbündigen Flattersatz an, um bei Vergrößerungen große Lücken zu vermeiden.

Grafiken

1. Vergeben Sie einen kurzen präzisen Alternativtext (**rechte Maustaste > Grafik formatieren > Alternativtext > Beschreibung**)
2. Abbildungen über den Reiter **Format > Zeilenumbruch mit "Text in Zeile"** einbinden, da es sonst zu Problemen bei der Erkennung in Screenreadern kommen kann.

Dokumenteigenschaften

1. Legen Sie die Sprache fest (**unter Reiter Datei > Optionen > Sprache**)
2. Geben Sie auf jeden Fall dem Dokument einen Titel (**unter Datei > Informationen**) nach Bedarf Eigenschaften, wie den Autor und Tags

Dokumentvorlage anlegen

Es empfiehlt sich Dokumente auf der Basis von Dokumentvorlagen zu erstellen. Die Vorlage mit der Endung ".dotx", sichert ein vereinfachtes und produktives Vorgehen für zu erstellende Word Dokumente.

Möglichkeiten der PDF Erzeugung

"Einfaches" Abspeichern als PDF Datei

Unter **Datei > speichern unter > pdf Format auswählen** können Sie unter Beachtung der folgenden Optionen ein barrierearmes PDF erzeugen

- o **Dokumentinformationen konvertieren**
- o **Zugriff und Umfließen durch Erstellen von Adobe PDF aktivieren**
- o **Lesezeichen erstellen**
- o **Word Überschriften in Lesezeichen konvertieren**

AxesPDF

Infos zu AxesPDF unter: www.axespdf.com

Nach unseren Erfahrungen hat sich das Tool **AxesPDF** als sehr hilfreich erwiesen, da es die Struktur des Dokuments sehr gut wiedergibt und Features zur Verfügung stellt, die die Umsetzung erleichtern.

Die **Beta Version AxesPDF** können Sie bei <http://www.axespdf.com/> kostenlos erhalten.

Acrobat X

Das von Acrobat zur Verfügung gestellte kostenpflichtige Acrobat Professional eignet sich ebenfalls zur Erstellung barrierefreier Dokumente und bietet vor allem Möglichkeiten der **nachträglichen Bearbeitung der PDF-Datei**, die in vielen Fällen aber auch notwendig wird.

Abb. 42. Flyer der Fernuniversität in Hagen: Erstellung barrierefreier Dokumente

Adobe Acrobat Professional

Wer in der glücklichen Lage ist über das Programm Adobe Acrobat Professional zu verfügen, der kann auf das bessere und vielfältigere Tool zurückgreifen. Das Acrobat Professional stellt zwei Assistenten zur Verfügung:

- Einen ersten Aktions-Assistenten, welcher den Benutzer dabei unterstützt das aktuelle PDF barrierefrei zu machen;
- Einen zweiten Assistenten, welcher den Benutzer unterstützt zu prüfen, in wie weit ein genutztes PDF barrierefrei ist.

Der Aktionsassistent wird unter Werkzeug (Tools) aufgerufen. In der Aktionsliste (Actions list) wählen sie „Barrierefrei machen“ (Make accessible) aus (Abb. 44).

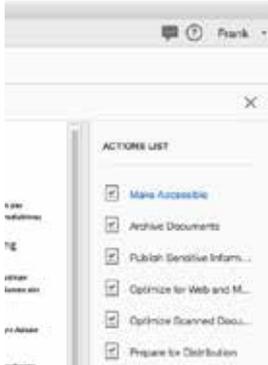


Abb. 44. Aktionsassistent unter Werkzeugliste

Der Assistent führt sie durch die verschiedenen Checklisten und sie können sofort die geforderten Änderungen übernehmen.“

Der zweite Assistent ist unten in der sekundären Aktionsliste unter Punkt 3 aufgelistet: „Vollständige Prüfung“ (Run accessibility full check).

Genauere Anweisungen zur Benutzung des Assistenten können bei Adobe (Adobe, 2017) nachgelesen werden.

Lehrer und andere pädagogischen Mitarbeiter in Schulen verfügen in der Regel über eines der hier beschriebenen PDF-Editors. Es ist wichtig zu verstehen, dass die Weitergabe von Dokumenten in der Regel eher in einem PDF-Format als in dem anwendungsspezifischen Format erfolgen soll. Bei PDF war die Absicht ja ein plattformunabhängiges Format anzubieten, welches sicherstellt, dass das Layout und die Ansicht universal immer gleich ist. In dieser Logik der universelle Zugänglichkeit wurde eben auch die Barrierefreiheit recht früh als wichtiges Merkmal von PDF erkannt. Alleine die Prävalenz von Deuteranopie (Grün-Schwäche, Grün-Blindheit) und Protanopie (Rot-Schwäche, Rot-Blindheit) erklärt warum das Überprüfen von Farbkontrasten im Hinblick der Barrierefreiheit wichtig ist. Tatsächlich weisen 9% aller Männer sowie 0,8% der Frauen eine Rot-Grün Sehschwäche oder- Blindheit auf. Schlecht gewählte Kontraste wären für sie sehr schlecht wenn gar nicht wahrnehmbar. Alleine deren Prävalenz ergibt für jede Klasse von 20 Schüler 2 Schüler die auf barrierefreie elektronische Dokumente angewiesen sind.

Sollte die Lehrkraft nun aber nicht über die entsprechenden Anwendungen verfügen um barrierefreie Dokumente selbständig herzustellen, so gibt es eine Vielzahl an Online- Anwendungen (Web-basiert) welche gratis diesen Dienst anbieten.

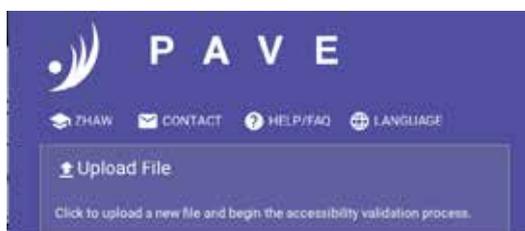


Abb. 46. Hochladen des PDF auf den Server

So hat die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Blinden- und Sehbehindertenverband das Online Tool PAVE (PDF Accessibility Validation Engine) entwickelt, welches es ermöglicht PDF Dokumente barrierefrei zu machen. Es handelt sich um einen Server, auf den das PDF hochgeladen werden kann und welcher automatisch das PDF zu einem barrierefreien Dokument umbaut.



Abb. 43. Assistent in Adobat Acrobat Pro (unter Menüpunkt "Edit"



Abb. 45. Aktion „Barrierefrei machen“

5. Schlussfolgerung

Es wurde zu Beginn dieses Papiers darauf hingewiesen, dass eine Vermischung von Themen und Perspektiven vermieden werden soll.

Die hier aufgeführten Überlegungen zum Thema Design für alle stehen nicht immer im Einklang mit anderen Perspektiven. So beziehen viele Schulpädagogen und Schuldidaktiker zum Thema Farbe teilweise konträre Positionen, als jene welche im Design für alle eingenommen werden. Sie kritisieren die „Architekturkrankheit Schwarz-Weiß-Grau“ als „Unbuntfarben“ und weisen auf die positive psychologische Wirkung von „Buntfarben“ im Schulraum hin (Fischer 2013, 157-189). Diese können tatsächlich sehr interessant bei der Klassenraumkodierung sein, dürfen jedoch nicht bei der Farbauswahl für Wand und Decke zurückbehalten werden.

Andere fordern im Klassenraum viele Ecken, Lernbereiche und Lernzonen, welche auf spezifische Aktivitäten und Lernprozesse hin gestaltet sind (Hoffmann, P., 2015, S. 47). Diese sind optisch und physisch untereinander getrennt, was für Kinder mit eingeschränkter Motorik oder Kinder welche auf die Nutzung von Hilfsmitteln (Videolupe, Braillezeile, Rollstuhl...) angewiesen sind, durchaus zum Nachteil ist. Auf der anderen Seite erbringen diese Raumteiler akustisch sehr viele Vorteile bei Gruppenarbeiten (s. „Störgeräusche“ auf Seite 22).

Geräuschlos aufschwingende Glastüren stellen für Rollstuhlfahrer eine große Erleichterung dar sind jedoch für blinde und sehbehinderte Schüler eine Gefahr, die nicht zu unterschätzen ist.

Es ist nicht Ziel dieser Zusammenfassung, eine klare Trennung zwischen den Belangen der Pädagogik und jenen des „Design für alle“ aufzuzeigen. Vielmehr sollte es dem Leser bewusst werden, dass das Einnehmen einer Perspektive nicht immer auf uneingeschränktes Entgegenkommen trifft. Die dargelegten Überlegungen und Argumente sollten als ergänzende Perspektive im Diskurs mit anderen Schulpartnern verstanden werden.

Die in dieser Arbeit zusammengetragenen Aspekte sind immer nur eine Veranschaulichung des Designs für alle in dem Sinne, dass ein Schulgebäude mit seiner Infrastruktur immer den Bedarfen und Bedürfnissen aller entsprechen soll. Es geht nicht nur um die Barrierefreiheit einiger weniger sondern es geht um das allgemeine Wohlbefinden aller. Viele bis heute noch geltenden Prinzipien der Gestaltung von Schulgebäuden sollten hinterfragt werden. Diese Arbeit versteht sich als Anstoß zu solch einem Prozess der Reflexion. Architektur sollte also sowohl den Bedarfen von Schülern mit sonderpädagogischem Förderbedarf entsprechen wie aber auch den besonderen Bedürfnissen und Bedarfen wie Gegebenheiten von Heranwachsenden, welche „nur selten bei der architektonischen Planung berücksichtigt“ (Schmidlein-Mauderer et al.) werden.

Design für alle lässt sich nur teilweise in DIN-Form gießen. Vielmehr ist eine Kooperation von Lehrern, Architekten, Ingenieuren, Medizinern, Eltern und Kindern erfordert um spezifische Lösungen für spezifische Gegebenheiten zu erarbeiten. Dieser Prozess schreibt sich in den Grundgedanken einer inklusiven Schulentwicklung ein (siehe Booth et al., 2017).

LITERATURVERZEICHNIS

- Adobe (2017): PDF erstellen und Barrierefreiheit prüfen (Acrobat Pro DC):** Seite: https://helpx.adobe.com/at/acrobat/using/create-verify-pdf-accessibility.html#make_PDFs_accessible (Aufgerufen am 27. Mai 2017 um 19.45 UTC).
- Anderson, Charles H.; Van Essen, David C.; Olshausen Bruno A. (2004):** *Directed Visual Attention and the Dynamic Control of Information Flow*. St.Louis. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/1d-f4/82275115db6f7f5e6620d7e847e6248860c2.pdf> (Abgerufen am 31. Mai 2017 um 22.45).
- Aragall/Neumann/Sagramola (2013):** Design für Alle erfolgreich umsetzen - von der Theorie zur Praxis, ECA 2013, Berlin/Münster.
- Arns, M. van der Heijden, K.B., Arnold, L.E. & Kenemans, J.L. (2013):** Geographic variation in the prevalence of ADHD: The Sunny perspective. In: *Biological Psychiatry* DOI: 10.1016/j.biopsych.2013.02.010
- Bauer, Angela; Opp, Günther (Hrsg.) (2015):** Lebensraum Schule - Raumkonzepte planen-gestalten-entwickeln. 2. Auflage. Frauenhofer IRB-Verlag. Stuttgart.
- Booth, Tony ; Ainscow, Mel ; Achermann, Bruno ; Amirpur, Donja ; Braunsteiner, Maria-Luise ; Demo, Heidrun ; Platte, Elisabeth ; Platte, Andrea (2017):** Index für Inklusion : Ein Leitfaden für Schulentwicklung. Mit Online-Materialien. Auch für Kindergärten, Hochschulen und andere Bildungseinrichtungen. 1. Aufl.. Weinheim: Beltz GmbH, Julius.
- Bartenbach, C. (2009):** Handbuch für Lichtgestaltung. Lichtechnische und wahrnehmungspsychologische Grundlagen. Springer Verlag Wien, New York
- Beauftragte der Bundesregierung für die Belange behinderter Menschen (Hrsg.) (2014):** Die UN-Behindertenrechtskonvention. Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen, Berlin.
- Borrelbach, Simone; Walden, Rotraut (2017):** Schulen der Zukunft - Gestaltungsvorschläge der Architekturpsychologie. Asanger Verlag. 9.Auflage
- McCarthy, Paul; Rollow, Jack (2005):** Acoustical Design Basis of a Sound Education. In: *School Planning and Management*. April 2005.
- CHPS - Collaborative for High Performance Schools - (o.J.).** Seite: <http://www.chps.net/dev/Drupal/node/166> (abgerufen 23. März 2017, 21.01 UTC)
- CHPS Collaborative for High Performance Schools (2006):** Best practises manual - Volume I Planning. Edition 2006
- CHPS Collaborative for High Performance Schools (2006):** Best practises manual - Volume II Design. Edition 2006
- CHPS Collaborative for High Performance Schools (2006):** Best practises manual - Volume III Criteria. Edition 2006
- CHPS Collaborative for High Performance Schools (2004):** Best practises manual - Volume IV Maintenance & Operations. Edition 2004

- Cornelissen, F.W.; Kooijman A.C., Schoot, E., Bootsma A. G.J. van der Wildt (1994):** Optimizing Illumination for visually Impaired persons; comparing subjective and objective criteria. In: Low Vision Research and New Developments in Rehabilitation. Amsterdam, IOS Press, 68-75
- Connolly, Daniel M.; Dockrell, Julie, E.; Shieldc, Bridget M.; Conettad, Rob; Coxe, Trevor J.(2015):** Students' perceptions of school acoustics and the impact of noise on teaching and learning in secondary schools: Findings of a questionnaire survey. In: 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015: 3114-3119
- Czeisler CA, Duffy JF, Shanahan TL, Brown EN, Mitchell JF, Rimmer DW, Ronda JM, Silva EJ, Allan JS, Emens JS, Dijk DJ, Kronauer RE. (1999):** Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. Science. 1999 Jun 25; 284(5423):2177-81
- Dockrell, Julie, E.; Shieldc, Bridget M. (2008):** The effects of environmental and classroom noise on the academic attainments of primary school children. In: 2008 Acoustical Society of America, AM. 123 (1), Januar 2008
- Earthman, G. I., & Lemasters, L. K. (Februar 1997):** The impact of school buildings on student achievement and behavior, A review of research. PEB Exchange. In: The Journal of the OECD Programme on Educational Building, 30, S.11-15
- Earthman, G.I. ; Lemasters, L.(1998):** Where children learn: A discussion of how a facility affects learning. In: Virginia educational facility planners. Blacksburg
- EDAD - Europäisches Institut Design für Alle in Deutschland e.V. /Fürst Donnersmark Stiftung zu Berlin (Hrsg.)(2005):** ECA - Europäisches Konzept für Zugänglichkeit, Münster.
- EDAD - Europäisches Institut Design für Alle in Deutschland e.V. (o.J).** Seite: <http://www.design-fuer-alle.de/design-fuer-alle> (abgerufen: 8. Juni 2017, 11,15 UTC)
- Engelhardt, Lutz; Metlitzky, Nadine (2015):** Bauliche Barrierefreiheit im Lebensraum Schule. In: Bauer, Angela; Opp, Günther (Hrsg.): Lebensraum Schule - Raumkonzepte planen-gestalten-entwickeln. 2. Auflage. Fraunhofer IRB-Verlag. Stuttgart.
- Fischer, Karl Albert (2013): Licht und Beleuchtung in der Schulraumgestaltung.** In: Kahlert, Joachim ; Nitsche, Kai ; (Hg.), Klaus Zierer (2013): Räume zum Lernen und Lehren : Perspektiven einer zeitgemäßen Schulraumgestaltung. Leipzig: Klinkhardt. S.157-176
- Franchi, Marialdelaide (2001):** The right to breathe healthy indoor air in schools. In: Indoor Air Pollution in Schools, Bericht der European Federation of Sthma and Allergy Associations. Seite: http://ec.europa.eu/health/ph_projects/1999/pollution/efa_en.pdf (Entnommen am 11. Juni 2017 um 16.59 UTC).
- Gertel, Stephen J.; Mc Carthy,Paul J. (2004):** High performance schools equals high performance students. In: Educational facility planer, Band 39, Ausgabe 3
- Govén, T.; Laike, T.; Pendse, B.; Sjöberg, K. (2007):** The background luminance and colour temperatures influence on alertness and mental health. Seite <http://www.livingdaylights.nl/wp-content/uploads/2014/11/The-backgronund-luminance-and-colour-temperatures-influence-on-alertness-and-mental-health.pdf> (abgerufen: 21. März 2017, 23:12 UTC)
- Govén, Tommy; Laike, Thorbjörn; Raynham, Peter; Sansal, E (2011) :** Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children. In: Proceedings of the 27th Session of the CIE Sun City, South Africa, S.112 – 120

- Heschong Mahone Group (1999):** Daylighting in schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance. San Francisco, Calif.: Pacific Gas and Electric Company.
- Hoffmann, Petra (2015):** Der Klassenraum als dritter Pädagoge: Gestaltung und Einfluss des Klassenzimmers auf Schüler und Lehrer. Hamburg : Diplomica Verlag, 2015, 1., Erstauflage
- Jacobs, Marie-Josée (2010):** *Vorwort.* In: Aktionsplan der Luxemburger Regierung zur Umsetzung der UNO-Behindertenrechtskonvention. Luxemburg.
- Jago, E., & Tanner, K. (1999).** Influence of the school facility on student achievement. Bearbeitungsstand 3. März 2011. Seite: <http://www.coe.uga.edu/sdpl/researchabstracts/visual.html> (Aufgerufen am 17. März 2017, 23.05 UTC)
- Kahlert, Joachim ; Nitsche, Kai ; (Hg.), Klaus Zierer (2013):** Räume zum Lernen und Lehren : Perspektiven einer zeitgemäßen Schulraumgestaltung. Leipzig: Klinkhardt.
- Kephalopoulos; Stylianos, Csobod, Éva; Bruinen de Bruin, Yuri; Fernandes, Eduardo de Oliveira (2014):** SINPHONIE: Leitlinien für eine gesunde Umgebung in europäischen Schulen. Veröffentlichung der Generaldirektion für Gesundheit und Verbraucher der Europäische Kommission. Luxemburg 2014
- Klatte, Maria; Lachmann, Thomas (2009):** Viel Lärm ums Lernen: Akustische Bedingungen in Klassenräumen und ihre Bedeutung für den Unterricht. Erschienen in: Arnold, R., Schübler, I., & Müller, H.J. (Hg.) (2009).Grenzgänge(r) der Pädagogik. Festschrift für Joachim Münch. Battmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren. S. 141-156
- Seite „Komplexitätsreduktion“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.** Bearbeitungsstand: 24. Oktober 2015, 16:47 UTC. Seite: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Komplexit%C3%A4tsreduktion&oldid=147338728> (Abgerufen: 6. Februar 2017, 19:45 UTC)
- Kuehni,C.E.; Sennhauser F.H.(2002):** Asthma-Epidemiologie. Prävalenz, zeitliche Trends, natürlicher Verlauf.. In : SchweizerMedizinischem Forum. Nr.18. Seite 421-423.
- Lauritzen, Lotte; Jorgensen, Horby; Fleischer, Marianne; Michaelsen, Kim (2004):** Test-Retest Reliability of Swept Visual Evoked Potential Measurements of Infant Visual Acuity and Contrast Sensitivity. In: Pediatric Research Foundation Vol. 55, No. 4, 2004 (S.704)
- Liu, Donald; Fernandez, Bernadette. O.; Lang, Ninian. N.; Gallagher,Julie. M. C.; Feelisch, Martin (2014):** UVA irradiation of human skin vasodilates arterial vasculature and lowers blood pressure independently of nitric oxide synthase, In: Journal of Investigative Dermatology, doi: 10.1038/jid.2014.27.
- Seite „Lombard-Effekt“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.** Bearbeitungsstand: 29. November 2016, 10:55 UTC. Seite: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Lombard-Effekt&oldid=160185262> (Abgerufen: 29. April 2017, 14:09 UTC)
- Maue, Jürgen (2014):** Raumakustik. In: Sichere Schule - Gesundheits-und lernförderndes Klassenzimmer. Veröffentlichung Der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen und der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung.
- Matterhorn-Protokoll (2016):** Hrsg The PDF Association | PDF/UA Competence Center | PDF/UA - 1 Matterhorn Protocol 1.02. Seite: https://www.pdfa.org/wp-content/until2016_uploads/2016/08/MatterhornProtokoll_1-02-2016-06-29.pdf. (Aufgerufen am 26 Mai 2017 um 17.58).

- Mirzakhania, Christine (2008):** Funktionelle Augenuntersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Sehschärfe bei drei- und vierjährigen Kindergartenkindern in Hamburg und Schleswig- Holstein. Dissertation. Hamburg
- Moriske, Heinz-Jörn; Szewzyk Regine (2008):** Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden. Hrsg Umweltbundesamt. Berlin
- Mott, Michael S.; Robinson, Daniel H.; Walden, Ashley; Burnette, Jodie; Rutherford, Angela S. (2012) :** Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning. The University of Mississippi, Tupelo.
- Myhrvold, N.; Olsen, E.; Lauridsen, O. (1996):** Indoor environment in schools—Pupils health and performance in regard to CO2 concentrations. Indoor Air '96. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Indoor Air Quality and Climate 4, pp. 369–374.
- Seite „Nachhallzeit“.** In: **Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.** Bearbeitungsstand: 13. Januar 2017, 15:25 UTC. Seite: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Nachhallzeit&oldid=161598578> (Abgerufen: 25. April 2017, 18:37 UTC)
- Nachtigall, Detlev (2007):** "Verbrauchte Luft" während des Unterrichts - Unzureichende Luftqualität in Klassenräumen. Seite: <http://luftqualitaet-schule.blogspot.lu/> (abgerufen: 11. Mai 2017, 17:55 UTC).
- Neumann, Peter; Rebstock, Markus; Leidner, Rüdiger (2009):** Von Barrierefreiheit zum Design für Alle – Eine Einführung. In Leidner Rüdiger, Peter Neumann, Markus Rebstock (Hrsg.). (2009): Von Barrierefreiheit zum Design für Alle – Erfahrungen aus Forschung und Praxis, Arbeitsberichte der Arbeitsgemeinschaft Angewandte Geographie Münster e.V., Heft 38, Münster.
- Neumann, P.; Knigge, M.; Iffländer, K. & Kesting, S (2014):** *Besser für die Kunden, besser fürs Geschäft - Design für Alle in der Praxis – ein Leitfaden für Unternehmen.* Münster/Hamburg.
- Nocke, Christian (2016):** Die neue DIN 18041 – Hörsamkeit in Räumen. In: *Lärmbekämpfung* Bd. 11 (2016) Nr. 2 - März. Düsseldorf.
- Ott, John. N. (1976):** Influence of Fluorescent Lights on Hyperactivity and Learning Disabilities. In: *Journal of Learning Disabilities*, 9 (7): 417-422
- PAVE (2016):** Seite: <http://pave-pdf.org/index.de.html> (Abgerufen am 29. Mai 2017 um 23.45 UTC)
- PDF-Association:** PDF/UA - ISO 14289: Der neue Standard für barrierefreie PDF-Dokumente und PDF-Formulare URL https://www.pdfa.org/wp-content/until2016_uploads/2013/12/Flyer-PDFUA-DEU.pdf . Berlin Datum unbekannt.
- Seite „PDF/UA“.** In: **Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.** Bearbeitungsstand: 20. Januar 2017. Seite: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=PDF/UA&oldid=762722983> (Abgerufen am 26. Mai 2017, 19.08 UTC).
- Peteres, Simone (2014):** Raumluftqualität und Raumklima. In In: *Sichere Schule - Gesundheits- und lernförderndes Klassenzimmer.* Veröffentlichung Der Unfallkasse Nordrhein-Westfalen und der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung. Seite 39-47.
- Pinel, J. (2001):** Das visuelle System: Vom Auge zum Kortex. In: *Biopsychologie.* Heidelberg-Berlin: Spektrum, Akad. Verl.

- Rosen, K. G.; Richardson, G. (1999):** "Would Removing Indoor Air Particulates in Children's Environments Reduce Rate of Absenteeism - a Hypothesis." *The Science of the Total Environment*, 234 (3): 87-93.
- Robert Koch Institut (2007):** Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes - Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Schleswig-Holstein. Berlin.
- Rostand, Stephen G. (1997):** Ultraviolet Light May Contribute to Geographic and Racial Blood Pressure Differences. In: *Hypertension*, August 1997, Volume 30, Issue 2
- Ruhe, Carsten (2008):** Büroräume für hörgeschädigte Mitarbeiter-Hinweise zur Ausstattung. Deutscher Schwerhörigenbund e.V. - Referat Barrierefreies Planen und Bauen.
- Schick, August; Klatte, Maria; Meis, Markus (2000):** Noise stress in classrooms. Institut for Research into Man-Environment-Relations and Graduate Psychoacoustics, University of Oldenburg. Seite: <https://perswww.kuleuven.be/~u0030736/pdf/2000%20Schick%20Klatte%20Meis%20Noise%20stress%20in%20classrooms.pdf> (Abgerufen 29. April 2017, 13:44 UTC)
- Schmidtlein-Mauderer, Christina; Schönig, Wolfgang (Hrsg) (2013):** Gestalten des Schulraums - Neue Kulturen des Lernens und Lebens. Hep-Verlag. Bern.
- Schneider, M. (2002):** Do school facilities affect academic outcome? In : National Clearinghouse for educational facilities. Washington URL: <http://www.ncef.org/pubs/outcomes.pdf> (Abgerufen: 25. März 2017, 11:45 UTC)
- Schönig, Wolfgang; Schmidtlein-Mauderer, Christina (Hg.) (2013):** Gestalten des Schulraums : neue Kulturen des Lernens und Lebens. Bern . 1. Auflage
- Shield, B; Dockrell, J.E. (2004):** External and internal noise surveys of London primary schools. *Journal of the acoustical Society of America*, 115, 730-738.
- Shendell, Derek G.; Fisk, William J.; Apte, Michael G.; Lawrence, David Faulkner (2004):** Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho. *Indoor Air*, 2004; 14 (5): 333-341
- Soziales, Deutschland Bundesministerium für Arbeit und (2011):** Unser Weg in eine inklusive Gesellschaft : der Nationale Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention [einfachmachen - gemeinsam die UN-Behindertenrechtskonvention umsetzen]. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales.
- Springer Gabler Verlag** (Herausgeber), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Soziale Medien, Seite: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/569839/soziale-medien-v6.html>. (Abgerufen: 10. Januar 2017, 21:15 UTC)
- UNESCO - The Salamanca Statement (1994):** The Salamanca Statement and Framework for Action on Special Needs Education. World Conference on Special Needs Education, Salamanca, Spanien, UNESCO. Stand 2004). Seite: http://www.unesco.org/education/pdf/SALAMA_E.PDF. (Abgerufen am 8. Juni 2017 um 12.00 UTC)
- UNESCO - Die Salamanca Erklärung und der Aktionsrahmen zur Pädagogik für besondere Bedürfnisse** angenommen von der Weltkonferenz "Pädagogik für besondere Bedürfnisse: Zugang und Qualität" Salamanca, Spanien, 7.-10. Juni 1994. Seite : http://www.unesco.at/bildung/basisdokumente/salamanca_erklaerung.pdf (Abgerufen am 8. Juni 2017 um 12.34 UTC)

- United Nations Convention on the Rights of Persons with Disabilities (2006):** URL http://www.un.org/disabilities/documents/convention/convention_accessible_pdf.pdf (Abgerufen am 17. Mai 2017, 23.15 UTC).
- Seite „Universal Design“.** In: **Wikipedia, Die freie Enzyklopädie.** Bearbeitungsstand: 16. Januar 2017, 15:57 Seite. Seite: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Universal_Design&oldid=161700391 (Abgerufen: 18. Januar 2017, 22:08 UTC).
- Vogeler, Bernhard; Lacher, Ingrid; Berg, Esther (2014) :** Erstellung barrierefreier PDF Dokumente . Hrsg: Fernuniversität in Hagen .Seite: http://www.fernuni-hagen.de/barrierefrei/download/flyer_barrierearm_2014.pdf. (Aufgerufen am 27. Mai 2017 um 18.30 UTC).
- WCAG (Bearbeitungsstand 10. März 2017):** Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) Overview. Seite: <https://www.w3.org/WAI/intro/wcag> (Abgerufen am 22. Mai 2017 um 18.30).
- The WHO European Centre for Environment and Health (2009): WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Bonn.**
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009):** Lighting and Discomfort in the Classroom. Dans: *Journal of Environmental Psychology*, 29, 63-75

ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

- Abb. 1 Seite 4:** DfA Design fuer Alle Einhandstecker.jpg. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADfA_Design_fuer_Alle_Einhandstecker.jpg. By Matthias Knigge - Büro grauwert (EDAD - Design für Alle Deutschland) [CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)], via Wikimedia Commons
- Abb. 2 Seite 4:** Weinflasche mit Brailleaufschrift. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3e/DfA_Design_fuer_Alle_Weinetikett.jpg. By Peter Neumann - Neumann Consult (EDAD - Design für Alle Deutschland) [CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)], via Wikimedia Commons
- Abb. 3 Seite 4:** DfA Design fuer Alle salatschleuder.jpg. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ADfA_Design_fuer_Alle_salatschleuder.jpg. By Matthias Knigge - Büro grauwert (EDAD - Design für Alle Deutschland) [CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)], via Wikimedia Commons
- Abb. 4 Seite 7:** entnommen aus Anderson et al (2004), S.3
- Abb. 5 Seite 8:** Groben, Frank 2011
- Abb. 6 Seite 8:** Groben, Frank 2011
- Abb. 7 Seite 8:** Unbearbeitete Comicseite
- Abb. 8 Seite 8:** Comicseite bearbeitet durch Medienzentrum des IDV
- Abb. 9 Seite 8:** (<http://www.mrspspecialties.com/2015/08/clearing-visual-distractions.html>)
- Abb. 10 Seite 8:** (<http://www.mrspspecialties.com/2015/08/clearing-visual-distractions.html>)
- Abb. 11 Seite 9:** Gaussische Verteilung der Sehschärfe; LAURITZEN, L. et al. (2004)
- Abb. 12 Seite 11:** Groben, Frank (2017). Tageslichtspektrum (Adobe Illustrator)
- Abb. 13 Seite 11:** Groben, Frank (2017). Leuchtröhrenspektrum (Adobe Illustrator)
- Abb. 14 Seite 12:** Abbildung aus Rostand, Stephen G., 1997
- Abb. 15 Seite 13:** Frei erhältliche Karte des U.S. Centers for Disease Control and Prevention, 2010; <http://www.cdc.gov/ncbddd/adhd/prevalence.html> (Abgerufen: 23 März, 22.10 UTC)
- Abb. 16 Seite 13:** Diese Karte wurde erstellt anhand der National Renewabel Energy Laboratory NREL Kartentools: <http://www.nrel.gov/gis/mapsearch/> (U.S. flat plate tilted at latitude resource (JPG)) (Abgerufen: 23 März, 22.17 UTC)
- Abb. 17 Seite 13:** Abbildung entnommen aus einer Studie von T.Govén et al: (2007) The background luminance and colour temperatures influence on alertness and mental health. Seite <http://www.livingdaylights.nl/wp-content/uploads/2014/11/The-background-luminance-and-colour-temperatures-influence-on-alertness-and-mental-health.pdf> (abgerufen: 21. März 2017, 23:12 UTC)
- Abb. 18 Seite 15:** Groben, Frank (2017)
- Abb. 19 Seite 16:** Diagramme wurde mit Hilfe von Relux-Software von Frank Groben erstellt.
- Abb. 20 Seite 16:** Diagramme wurde mit Hilfe von Relux-Software von Frank Groben erstellt.
- Abb. 21 Seite 16:** Diagramme wurde mit Hilfe von Relux-Software von Frank Groben erstellt.
- Abb. 22 Seite 17:** Diagramme wurde mit Hilfe von Relux-Software von Frank Groben erstellt.
- Abb. 23 Seite 18:** Groben, Frank (2017)

- Abb. 24 Seite 18:** Groben, Frank (2017)
- Abb. 25 Seite 18:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 26 Seite 18:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 27 Seite 18:** Bartenbach C. (2012): Kontrast und Sehleistung, S. 118.
- Abb. 28 Seite 19:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 29 Seite 20:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 30 Seite 20:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 31 Seite 20:** Links -Grogen, Frank (2011); rechts AdobeStock
- Abb. 32 Seite 22:** <http://www.burosch.de/audio-technik/233-raumakustik-1-schall-reflexionen-nach-hallzeit-hallradius.html>
- Abb. 33 Seite 22:** The Institute for Enhanced Classroom Hearing. Seite: http://www.classroomhearing.org/images/6db_drop.jpg (Abgerufen am 8. Juni 2017, 21.03 UTC)
- Abb. 34 Seite 23:** Quelle: „Energieoptimierung für Gebäude“, Dr.-Ing. Jürgen Blumenberg, Dr.-Ing. Markus Spinnler, TU München, Fakultät für Architektur, Fakultät für Maschinenwesen
- Abb. 35 Seite 24:** Trikustik-Raumakustikrechner (<http://trikustik.at/rak-rechner/>)
- Abb. 36 Seite 26:** Quelle: URL <https://logidatatech.com/en/products/measuring-systems/air-quality/air-quality-signal>
- Abb. 37 Seite 28:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 38 Seite 28:** Dura, Laurent (2011)
- Abb. 39 Seite 28:** Groben, Frank (2011)
- Abb. 40 Seite 30:** Bildschirmdruck von Groben, Frank (2017)
- Abb. 41 Seite 31:** Bildschirmdruck von Groben, Frank (2017)
- Abb. 42 Seite 31:** aus Vogeler, Bernhard; Lacher, Ingrid; Berg, Esther (2014): Flyer der Feruniversität in Hagen. Erstellung barrierefreier Dokumente
- Abb. 43 Seite 32:** Bildschirmdruck von Groben, Frank (2017)
- Abb. 44 Seite 32:** Bildschirmdruck von Groben, Frank (2017)
- Abb. 45 Seite 32:** Bildschirmdruck von Groben, Frank (2017)
- Abb. 46 Seite 32:** Bildschirmdruck von Groben, Frank (2017) (<http://pave-pdf.org/pave-web/web/index.html#>)