

## **Sehen lernen - Untersuchungen zu Augenbewegungen beim Betrachten histologischer Bilder von humanbiologischen Grundstrukturen**

*Lissy Jäkel, Julia Berg, Anamarija Penzes, David Mack, Uwe Ilg*

### **Abstract**

Mikroskopie von Kleinstlebewesen oder pflanzlichen Zellen fasziniert Schülerinnen und Schüler des Biologieanfangsunterrichts. In späteren Schuljahren wird kaum noch mikroskopiert. Schulabsolventen sind von der Komplexität realer Gewebestrukturen gefordert und haben wenig Übung. Gänzlich verpönt ist mikroskopisches Zeichnen.

Die vorliegende Studie ordnet sich dem Ziel unter, verschiedene Maßnahmen zu erforschen, um die Entwicklung von Fähigkeiten und Bereitschaften zum Mikroskopieren als fachspezifischer Kompetenz des Erkenntnisgewinns in der Schule zu fördern. Diese Maßnahmen sind beispielsweise die Weiterentwicklung von digital unterstützten Modulen und die Orientierung auf Problemlösungen.

Gelingt es Schulabsolventen, die zellulären Strukturen an komplexen humanbiologischen Geweben zu identifizieren und zu erkennen, wie beispielsweise bei der Retina? Durch Aufzeichnung von Augenbewegungen (Eye Tracking) wurde untersucht, ob bewusstes Erkennen und Deuten von histologischen Bildern vom Vorwissen abhängig ist. Weiter wollten wir ausloten, inwieweit über Eye Tracking Rückschlüsse auf Prozesse des Verstehens zellulärer und histologischer Zusammenhänge möglich sind. Über diese Pilotstudie sollte geprüft werden, ob Eye-Tracking ein geeignetes Instrument sein kann, um Effekte von Interventionen zu erkennen.

Die Voruntersuchung erfolgte an 11 jungen Erwachsenen kurz vor oder nach dem Abitur, die Hauptuntersuchungen erfassten 26 Abiturienten beim Betrachten histologischer Bilder im Tübinger Schülerlabor für Neurowissenschaften.

Die Daten zeigen, dass das Vorwissen zu zellulären Strukturen des Auges bzw. des Zentralnervensystems die Gesamtzahl der Sakkaden und Fixationen auf dieser Niveaustufe nicht beeinflusste. Jedoch weisen Probanden mit besserer Kenntnis der Strukturen des Auges eine höhere Anzahl von Fixationen der gesuchten Sinneszellen auf, insbesondere beim histologischen Bild des Augenhintergrunds. Die qualitative Analyse des „Scanpath“ histologischer Abbilder ermöglichte jedoch Rückschlüsse auf konkrete kognitive Aspekte des attentiven Bildverstehens. Es konnten verschiedene Strategien des Betrachtens und „Sehens“ unterschieden werden, wie z. B. zielgerichtete Suche oder weniger erfolgreiche Orientierung an Kontrasten oder Grenzschichten. Wichtig scheinen die Passung der Lernimpulse zum Vorwissen sowie ausreichende Übung des mikroskopischen „Sehens“.

*Stichworte engl.: Eye tracking, Fixations, Saccades, Microscopy, Retina, Pattern recognition*

*Stichworte deutsch: Untersuchung von Augenbewegungen, Sakkaden, Fixationen, Mikroskopie, Netzhaut, Mustererkennung*

## 1. Einleitung

In der biowissenschaftlichen Forschung sowie der Humanmedizin sind mikroskopische Untersuchungen unverzichtbar. Das Mikroskopieren ist nach den nationalen Bildungsstandards der naturwissenschaftlichen Grundbildung eine wesentliche „Kompetenz des Erkenntnisgewinns“.

Den Nobelpreis für Chemie erhielten 2014 Stefan Hell, Eric Betzig und William E. Moerner für die Entwicklung der superauflösenden Fluoreszenzmikroskopie. Während mikroskopische Techniken in der biowissenschaftlichen und medizinischen Forschung unverzichtbar sind und revolutioniert werden, um ihre Leistungsfähigkeit zu steigern und das Abbe-Limit von 0,2 Mikrometern zu unterschreiten, sind fachdidaktische Forschungen zu Schulmikroskopie eher selten. Gründe für derzeit seltenes Mikroskopieren bei anspruchsvollen Inhalten an Schulen könnten u.a. eine mangelnde technische Ausstattung mit Mikroskopen sowie mikroskopischen Präparaten original humanen Ursprungs sein. Aber auch für die digitale Mikroskopie berichten manche Universitäten (Klauer, Dierkes & Rothe, 2011) über fehlendes aufbereitetes Material sowie Tools zur gezielten Suche. Die Kompetenzen und Interessen der Lehrenden sind u. E. jedoch die wesentliche Grundlage für engagierte unterrichtliche Umsetzungen zur Mikroskopie als Erkenntnisgewinn. Dies sehen wir als Voraussetzung für sinnstiftendes Mikroskopieren im Unterricht und die dafür erforderliche Motivierung der Schülerinnen und Schüler. Wird der Schritt zwischen Desorientierung im Unbekannten und Faszination des verstehenden Sehens durch Übung bereits in der Schule oder erst im Studium überschritten?

## 2. Bisherige Erkenntnisse und theoretischer Hintergrund

### 2.1. Untersuchungen zur Schulmikroskopie und Modell der Mikroskopierkompetenz

Mikroskopieren ist nach den nationalen Bildungsstandards eine wesentliche Kompetenz des Erkenntnisgewinns, also Teil der naturwissenschaftlichen Grundbildung. Obwohl in den modernen Biowissenschaften und der Medizin die Lichtmikroskopie zu den unverzichtbaren Forschungs- und Diagnoseverfahren gehört, erfreut sie sich in den Augen von Studienanfängern (Jäkel, 2012) geringer Beliebtheit.

Kastenhofer (2004) bezeichnet trainiertes wissenschaftliches Mikroskopieren im Biologiestudium als „eingeübtes richtiges Sehen“ (Kastenhofer 2004, S. 112), um Muster und Strukturen zu erkennen, Unwesentliches auszufiltern, ungeachtet der Größendimensionen. Auch Schulmikroskopie sollte darauf hinarbeiten. Als hohes Niveau der Mikroskopierkompetenz gilt die konzeptionell begründete Nutzung der Methode zum Erkenntnisgewinn und zur Problemlösung, nicht allein zur Visualisierung von Strukturen. Dieses Niveau erreicht ein (auch im Internet für Schulzwecke beworbener) „Mikroskopie-Führerschein“ nicht, der vorrangig auf dem Niveau der technischen Bedienung des Mikroskops verharret.

In den nationalen Bildungsstandards spielt das Mikroskopieren-Lernen eine unverzichtbare Rolle, jedoch liegen hier für die Entwicklungen von Kompetenzen kaum empirische Belege vor. Bei Forschungen zu Kompetenzen des Erkenntnisgewinns sind bisher Schwerpunkte im

Bereich des Experimentierens bzw. der Modellmethode erkennbar (z. B. Ganser & Hammann 2009, Hammann 2010, Hammann 2012). Gängige naturwissenschaftliche Modelle zu Kompetenzen des Erkenntnisgewinns umfassen die Dimensionen „lab work“, „scientific inquiry“ und „nature of science“ (z. B. Kremer, Urhahne & Mayer 2007). Mayer (2007) verknüpft den Aufbau von Kompetenzen zum wissenschaftlichem Denken mit der Theorie des Problemlösen und setzt die drei eben genannten Dimensionen der Standards der Erkenntnisgewinnung (wissenschaftliche Arbeitstechniken, wissenschaftliche Untersuchungen, Charakteristika der Naturwissenschaften) mit kognitionspsychologischen Konstrukten (manuelle Fertigkeiten, wissenschaftliches Denken, Wissenschaftsverständnis) wechselseitig in Verbindung (Mayer, 2007, S.178). Das „Scientific Discovery as Dual Search“ – Modell (nach Klahr 2000) hat wichtige Impulse für die Erforschung der Kompetenzen des Erkenntnisgewinns gesetzt. Wir gehen in unserem Modell der Kompetenz des Mikroskopierens davon aus, dass Mikroskopie nicht allein dem Feld der praktischen Arbeitstechniken (lab work) zugeordnet werden kann, sondern geistige Aktivität im Sinne von Problemlösungsprozessen impliziert. Unser Modell bildet folgende vier Stufen:

- Stufe 1 umfasst basale praktische Fähigkeiten im Umgang mit dem Mikroskop („practical work / lab work“), vergleichbar einem Mikroskopie-Führerschein.
- Stufe 2 beinhaltet die Erkenntnis der Sinnhaftigkeit und Nützlichkeit der Anwendung der Mikroskopie in verschiedenen Erkenntnis-Situationen („fascination“)
- Stufe 3 umfasst den spezifischen und zielgerichteten Einsatz des Mikroskops zur Klärung von Fragen oder Erklärung wissenschaftlicher Phänomene („scientific reasoning“)
- In Stufe 4 geht die angemessene Verwendung des Mikroskops in der Biologie einher mit einem klaren Verständnis des Zellkonzepts von Lebewesen und erkenntnistheoretischen Ansichten („epistemological views“).

Nach den nationalen Bildungsstandards für das naturwissenschaftliche Lernen in der Sekundarstufe I stehen drei Basiskonzepte im Zentrum der durch Biologieunterricht zu entwickelnden Kompetenzen: Struktur und Funktion, System, Entwicklung. Das Mikroskopieren ist daher einerseits eine intendierte „Kompetenz des Erkenntnisgewinns“, zugleich aber unverzichtbar für ein wissenschaftlich fundiertes und anwendbares Zellkonzept.

Im Hinblick auf Mikroskopie ist ein deutliches fachdidaktisches Forschungsdefizit zu diagnostizieren. Aus der entsprechenden Literatur gibt es bisher eher Empfehlungen. Eine davon ist beispielsweise, mikroskopisches Zeichnen nicht zu stark zur Pflicht zu erheben (Staeck 1998), da es eher unbeliebt wäre und die mit dem Abzeichnen mikroskopischer Präparate verbundene erhöhte Anforderung die Schüler demotiviert. Kastenhofer (2004) meint dagegen, das Zeichnen wäre bei Biologiestudierenden eine Möglichkeit, um das „richtige Sehen“ zu lernen.

Die Autoren Araújo-Jorge et al. (2004) berichten über Bildungsaktivitäten brasilianischer Zellbiologen zur Popularisierung von Basiskonzepten zu Strukturen und Funktionen lebender Zellen bei Lehrern und „undergrade students“ mit Hilfe von mikroskopischen Bildern als interaktives Werkzeug in "cell modeling" und zellbiologischer Bildung. Sie zielen damit auch auf ein Verständnis von Wissenschaft und nicht allein auf praktische Fertigkeiten der

Handhabung eines Gerätes zum Erkenntnisgewinn, letztlich also auf „Nature of Science“ (NOS). Die Autoren berichten von einer Kooperation zwischen aktiver Zell-Forschung und schulischer Bildung. Sie gehen davon aus, dass die Aktivierung der Lernenden das Verständnis vertieft. Bei Korres et al. (2014) geht es um die Verknüpfung von universitären Studien mit der Mikroskopie z. B. für zahnärztliche Fragen bei Karies, mit der Popularisierung wissenschaftlicher Methoden für die schulische Bildung in Brasilien.

Seit 2013 gibt es eine von der lokalen Industrie unterstützte „Mikroskopierstraße“ für Schülerinnen, Studierende und Lehrer an der Universität in Jena. In Japan wurde ein gehobener „Mikroskopie-Führerschein“ mit neun Workshops entwickelt und an zwei Probandengruppen beforscht (Amano, Yamanaka & Kawakami, 2014). Hierbei sind die Anforderungen beim Mikroskopieren durchaus hoch gesetzt.

## **2.2.Problemorientiertes Lernen**

Um das Verständnis zellulärer Strukturen humanbiologischen Ursprungs geht es auch in medizinischen Studiengängen. Dort hat sich der Ansatz des „Problem Based Learning“ (kurz PBL) bewährt und zu einer Neuorganisation von Studiengängen beigetragen (Schmidt, 1983). Es wurde zunächst 1969 in Kanada eingeführt, später auch in Deutschland. PBL gilt als praxisnah, handlungsorientiert, fördere entdeckendes Lernen sowie Strategien der Hypothesenbildung und Prüfung. PBL soll der Entwicklung von Skills (Kompetenzen) dienen. Studien deuten darauf hin, dass Studierende, die ein PBL-Curriculum durchlaufen haben, etwas weniger Wissen in den theoretischen Grundlagen der Medizin haben, diese aber durch besseres klinisches Wissen kompensieren (Menin u.a., 1993). PBL-basierter Unterricht als Konzeption eines Studiengangs ist vor allem in der Implementierung sehr aufwändig und bedeutet auch Investitionen, die sich aber langfristig auswirken. Crawford (2014) definierte PBL als „cognitive apprenticeship approach that focuses on learning from problem-solving experience and promotes learning of content and practices at the same time“ (Crawford 2014, S. 518). Sie bezieht die Ursprünge dieses Ansatzes ebenfalls auf die medizinische Ausbildung und verweist auf Studien von 1983. Im „weiteren Sinne“ ist ein problemorientiertes Lernen in der Fachdidaktik bereits deutlich länger etabliert. Hierbei wird nicht in jedem Fall auf ein reales (medizinisches) Problem orientiert, sondern auf einen kognitiven Konflikt zwischen dem vorherigen und dem erforderlichen Wissen und Können der Lernenden. Der Ansatz der Problemorientierung im Unterricht hat in vielen Schulfächern Fuß gefasst (z. B. Ladenthin, 1982; Kiel u.a., 2011; Carrió, Costa & Lope 2012). Dabei werden Erkenntnisse von Vygotsky (1978, 1987) berücksichtigt, dass die Problemstellung durch die Lehrkraft in der Zone der nächsten Entwicklung liegen und Lernende weder über- noch unterfordern sollte. „Von Problemen ist [...] die Rede, wenn die Mittel zum Erreichen eines Zieles unbekannt sind oder die bekannten Mittel auf neue Weise zu kombinieren sind, aber auch dann, wenn über das angestrebte Ziel keine klaren Vorstellungen existieren.“ (Dörner, 1983, S. 302 f.) Bei einer Aufgabe wird „lediglich der Einsatz bekannter Mittel auf bekannte Weise zur Erreichung eines klar definierten Ziels gefordert.“ (Dörner et al., 1983, S. 303). Zum Problemlösen siehe auch Dörner (1989). Das Experimentieren wird in gängigen Lehrbüchern der Fachdidaktik der Biologie oder Chemie als Hochform des Problemlösens gesehen. Es geht bei

Problemorientierung also letztlich um das Erlernen erfolgreicher Problemlösung (problem solving).

Die Verankerung von Wissen an realitätsnahen Rahmenbedingungen soll sowohl die Entwicklung spezifischer, aber auch übertragbarer Problemlösefertigkeiten effektiver gestalten (Goldman et al., 1996). Eine große didaktische Herausforderung besteht in der „Konstruktion“ von motivierenden Problemen. Vergleiche dazu auch die Ergebnisse von Lin & Dwyer (2010) zu Visualisierungen an Herzmodellen.

### **2.3. Interesse**

Für problemorientiertes Lernen und PBL ist eine Berücksichtigung der Interessen der Lernenden unverzichtbar (z. B. Krapp & Prenzel, 1992; Haugwitz & Sandmann, 2009). Holstermann und Bögeholz weisen bei Auswertung der internationalen Interessenstudie („ROSE“) zu Naturwissenschaften zum Ende der Sekundarstufe 1 darauf hin, dass hier Items zu Aufbau und Funktion der Zelle nicht integriert waren. Daher wissen wir hier nicht, ob Jugendliche etwas darüber lernen möchten. Das betrifft direkt die Mikroskopie (Holstermann & Bögeholz, 2007). Hier gibt es Forschungsdefizite zu gefühls- und wertbezogenen Komponenten des Interesses. Wir wissen auch nicht, in welchen Kontexten Mikroskopie interessant sein könnte. Die Vermutung liegt nahe, dass Aspekte der Humanbiologie sehr geeignet sein könnten, da sie bei Jungen und Mädchen (wenn auch mit verschiedenen Schwerpunkten) als sehr interessant gewertet werden. Zu den zehn interessantesten Themen bei Mädchen in Deutschland u.a. Ländern Europas zählen Krebs, AIDS, Erste Hilfe, Fitnesstraining, Körperfunktionen oder Effekte der Schwerelosigkeit, bei den Jungen Auswirkungen von Schwerelosigkeit, Blitzen oder Waffen auf den menschlichen Körper (Holstermann & Bögeholz, 2007). Der Kontext oder Anwendungsbereich, in dem ein naturwissenschaftlicher Inhalt erscheint oder präsentiert wird, beeinflusst das Interesse (Bayrhuber, Bögeholz & Elster, 2007). Von Vogt u.a. (1999) liegt ein Hinweis aus einer empirischen Studie vor, dass (vereinzelte) Mikroskopie aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern im Anfangsunterricht als interessant erachtet wurde, allerdings eher auf der Ebene von „lab work“ oder „fascination“.

Zahlreiche sich reproduzierende Erfahrungen gibt es aus der Lehrerbildung. Aus den biologischen Themenfeldern, die als hochinteressant eingeschätzt werden, sind Problemfragen ableitbar, welche das Interesse von Studierenden fördern. Besonders spannend sind Fragen, zu denen die Literatur widersprüchliche Angaben enthält, die nur durch eigenes Untersuchen falsifiziert oder verifiziert werden könnten. Einige Beispiele aus unseren Seminaren: die Reissnersche Membran im Innenohr (unverzichtbar für Hörprozesse und Ionenaustausch) wird in einigen Quellen als mehrschichtig, in anderen als einschichtig dargestellt. Sind denn beide Aussagen zutreffend oder nicht? Die inneren und äußeren Haarsinneszellen, deren unterschiedliche Funktionen erst in den letzten Jahren klarer verstanden werden, sind in etliche Schemata des Innenohres in willkürlichen Anzahlen dargestellt. Ein weiteres Beispiel stellen die Müller-Zellen der Netzhaut dar (Guck 2012). Sie wurden erst in den letzten Jahren in den Blick genommen und helfen nun, die lange offene Frage nach den vermeintlichen evolutiven „Nachteilen“ inverser Augen neu zu stellen. In Schulbuchabbildungen fehlen sie in der Regel. Spannend fanden Lehramtsstudierende in zahlreichen Seminaren zur

Humanbiologie auch echte Humanpräparate mit z.T. pathologischen Veränderungen (Raucherlunge, verändertes Blutbild, Vaginalepithelzellenpräparate aus der Krebsvorsorgeuntersuchung), aber auch Blutausstriche. Wir konnten in diesen Kontexten zeigen, wie sich die Interessiertheit am Mikroskopieren durch problemorientiertes Lernen steigern lässt (Jäkel, 2012).

#### **2.4. Wissensstrukturierung**

Bisherige Beobachtungen legen die Vermutung nahe, dass Lernende beim Mikroskopieren zunächst starke Orientierungsschwierigkeiten haben. Kastenhofer (2004) berichtet exemplarisch über Schwierigkeiten von Biologiestudierenden im Umgang mit Mikroskopen. Auch Ballstaedt weist auf Merkmale von Bildern mit großen Freiheitsgraden und hoher visueller Komplexität hin, die Informationsverarbeitung erschweren (Ballstaedt, 1997). Mikroskopische Bilder, insbesondere der Humanbiologie, *sind* von hoher Komplexität. Häufig werden diese Orientierungsschwierigkeiten auch artikuliert. Es fällt Lehramtsstudierenden nach unseren Erfahrungen schwer zu erkennen, auf welcher Ebene (Zelle, Gewebe oder Organ) man sich jeweils befindet. Strukturen besonderer Farbigkeit fallen auf, Luftblasen zählen bisweilen zu den auffälligen Strukturen, auf die sich die Aufmerksamkeit richtet. Anscheinend fehlen hier Verknüpfungsmöglichkeiten zum eigenen Vorwissen und zum Zellkonzept.

Nach Ballstaedt (1997) unterscheidet man die vier (z. T. zeitgleichen) Ebenen des voraufmerksamen Verarbeitens globaler visueller Informationen, der aufmerksamen Verarbeitung (Details durch Blickbewegungen), der interpretativen Verarbeitung und des indikatorischen Bildverstehens sowie der rekonstruktiven Verarbeitung mit dem Abrufen und der Nutzung visuellen Wissens im Hinblick auf technische Abbildungen. Diese Ebenen können durch didaktische Maßnahmen beeinflusst werden.

Sprache und Bild als unterschiedliche Informationsquellen sind in der Kombination besonders effektiv, wenn sie jeweils die Informationen anbieten, die sie besonders deutlich präsentieren können und wenn sie sich gegenseitig ergänzen. Dies wird ausgedrückt in einer Forderung nach Text – Bild- Komplementarität (Ballstaedt, 1989) und in dem Konzept des semantischen Gefälles zwischen Text und Bild. Unterschiedliche Bildtypen bedienen dabei verschiedene kognitive Grundfunktionen (Oestermeier, 2008). Bei jedem Einsatz von Bildern gemäß Kontiguitätsprinzip (z. B. Mayer, 2001) ist auch zu prüfen, ob Bild und Text nahe beieinander angeordnet sind, damit die Blickbewegungen möglichst kurze Strecken aus dem Text in das Bild und umgekehrt zurücklegen müssen. Nach dem Kontiguitätsprinzip verbessert sich multimediales Lernen, wenn zusammengehörige Texte und Bilder sowohl räumlich als auch zeitlich den Lernenden gemeinsam angeboten werden (vgl. Urhahne u.a 2000; Winn, 1993).

Statische Bilder bieten dem Lernenden mehr Raum zur vertieften Reflexion, während man bei bewegten Bildern dazu weniger Gelegenheit zu haben scheint, da sich der Lernende im Prozess der Wahrnehmung eher auf die Bewegung und weniger auf die Vertiefung des Sachverhalts konzentrieren kann (Oestermeier, 2008). Bei realer Mikroskopie geht beides ineinander über, beim Vergrößern sowie bei der Wahl des Bildausschnittes mit Kreuztischen wird die vertiefte Betrachtung erst ermöglicht.

## 2.5.Sakkaden und Fixationen bei der Bildverarbeitung

Beim Betrachten von Bildern spielen bewusste und unbewusste Entscheidungen eine Rolle für die Aufmerksamkeit und das Fixieren auf die *Fovea centralis*, die Stelle des schärfsten Sehens. Zwischen den Fixationen erfolgen jeweils Blicksprünge, sogenannte Sakkaden.

Man unterscheidet bereits seit längerer Zeit verschiedene Ebenen der Bildverarbeitung, die sich teilweise überlagern. Die *attentive* Verarbeitung bezeichnet die bewusste und gezielte Verarbeitung von Bildern nach bestimmten Kriterien. Die einzelnen Informationen des Bildes werden dabei analysiert und interpretiert. Absichtsvoll und systematisch werden Informationen aus dem Bild bzw. den Bilddetails entnommen (Weidenmann, 1994). Die kognitive Lernwirksamkeit ist nach Weidenmann (1994) abhängig vom Lerntempo. Bei der *präattentiven* Verarbeitung wird ein Bild intuitiv als Ganzes verarbeitet, ohne dass besondere Aufmerksamkeit benötigt wird. Diese präattentive Verarbeitung, welche sehr gut durch Computerprogramme simuliert werden kann (Itti & Koch, 2001), wird durch die physikalischen Eigenschaften des Bildes wie Farbe, Kontrast oder Orientierung bestimmt. Attentive und präattentive Verarbeitung erfolgen parallel.

## 2.6.Integration von Bildern in Erkenntnisprozessen

Bereits länger bekannt ist (Alesandrini, 1984), dass Bilder eine affektive Wirkung haben. Sie ziehen die Aufmerksamkeit auf den Sachverhalt und regen zu selbstmotivierter weiterführender Tätigkeit an. Lernende beurteilen realitätsnahe Abbildungen als interessanter und motivierender als andere Abbildungen.

Aus der Medienwissenschaft sowie der Psychologie (Weidenmann, 1994) gibt es teilweise widersprüchliche Erkenntnisse zum Bildeinsatz. Weidenmann spricht bereits davon, dass „viele informierende Bilder bzw. Text-Bild-Kombinationen eine Verarbeitung durch die Benutzer eher behindern als fördern“ (Weidenmann 1994, S. 7). Je mehr ein Bild anbietet, desto unkontrollierbarer wird die Auswertung. Strichzeichnungen oder schematisierte Abbilder mögen kognitiv effektiver sein als Realbilder, denn sie lenken nicht durch Details ab (Ballstaedt, 1997). Mikroskopische Bilder sind von hoher Komplexität und können ungeübte Betrachter überfordern (vgl. Kastenhofer 2004).

Die räumliche Nähe von zusammengehörenden Text-Bild-Informationen hat sich als eine wichtige Variable des Instruktionsdesigns multimedialer Lernumwelten herausgestellt (Split-Attention Effekt). Die Cognitive Load Theory (Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998) bietet Erklärungen, inwiefern die räumliche Nähe multipler Informationsquellen die kognitive Belastung von Lernenden beeinflusst. Für die Erstellung von Lernmodulen mit histologischen Bildern sind diese Zusammenhänge relevant.

Mayer (2005) befasst sich mit der integrativen Verarbeitung von Text und Bild. Je näher sprachliche und visuelle Informationen beieinanderliegen, desto eher werden auch beide Informationsquellen genutzt. Es gilt deshalb das Prinzip der Kontiguität. Blättern oder Scrollen erschweren die integrative Verarbeitung. Auch eine auseinanderliegende Anordnung auf einer Seite erfordert noch erhebliche Blicksprünge.

Nach der kognitiven Theorie multimedialen Lernens wird davon ausgegangen, dass Lernende sich aktiv mit dem Lernmaterial beschäftigen, um eine kohärente (zusammenhängende und in sich schlüssige) mentale Repräsentation ihrer vorhandenen Erfahrungen konstruieren zu können (Mayer, 2005). Nach der ähnlichen kognitiv-affektiven Theorie des Lernens mit Medien (Cognitive-Affective Theory of Learning with Media, CATLM) von Moreno & Mayer (2007) wird angenommen, dass motivationale Faktoren sowie Lernstrategien das Lernen indirekt beeinflussen, indem sie das kognitive Engagement der Lernenden erhöhen oder reduzieren.

### **2.7. Kontextualisierung und Vernetzung von Wissen**

Kognitive Fertigkeiten werden unter bestimmten situativen Rahmenbedingungen erlernt. Mit Bild und Ton lassen sich in multimedialen Lernumgebungen interessante und realistische Problemstellungen aufgreifen. Dies ist von didaktischem Interesse, weil prinzipiell Elemente des Kontextes mit Gedächtnisinhalten assoziiert werden. Zu einem lernförderlichen „Classroom-Management“ gehört (Anderson, 1989) auch, ein Verständnis für den Wert der wissenschaftlichen Aufgabe und den damit verbundenen Aufwand aufzubauen.

Auch Moreno & Mayer (1999) berichten von einem räumlichen Kontiguitätseffekt für Text und Animation. Sie stellten in einer Untersuchung bessere Lerneffekte fest, wenn visuelle und verbale Lernmaterialien in engem räumlichem Zusammenhang dargeboten wurden. Sogar die Verarbeitungsfolge kann in Infografiken bildhaft durch "Betrachtungspfade" nahegelegt sein. Dies kann eine geleitete Verarbeitung unterstützen und einer Überforderung vorbeugen. Hier bieten computerbasierte Bilddarstellungen Vorteile, z.B. durch schrittweise Erweiterungen und Verfeinerungen der Bildmaterialien, oder durch Zoom-Techniken, die zwischen Übersicht und Detailbetrachtungen vermitteln. Moreno und Mayer (1999) zeigten bei Ihren Experimenten aber auch einen "modality effect". Probanden lernten besser, wenn Erklärungen mündlich erfolgten, im Unterschied zu abgedrucktem Text.

Solche Überlegungen sind wichtig für die Entwicklung computergestützter Lernmaterialien zur digitalen Mikroskopie. Unter Nutzung unserer Erkenntnisse zum „Sehen“ beim Betrachten histologischer Bilder entwickelten und testeten wir Lernmodule zur Histologie für Interaktive Whiteboards (IWB), dies ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden, sondern einer ergänzenden Projektdarstellung.

Text-Bild-Verhältnisse sind nicht nur in den Naturwissenschaften, sondern beispielsweise auch beim Lernen der Muttersprache oder von Zweitsprachen und Fremdsprachen im Blickpunkt fachdidaktischer Forschungen (z. B. Berkemeier, 2013, Dehn, 2007).

„Schüler/innen sollten ... grundsätzlich befähigt werden, Visualisierung als Methode nutzen zu können, um Informationen in Bezug zueinander zu setzen“ (Berkemeier, 2013, S. 145). Kalyuga et al. zeigen, dass Instruktionen, die für Novizen unverzichtbar bzw. hilfreich sein können, Experten oder erfahrenere Lerner eher stören (Expertise Reversal Effekt) (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003).

## 2.8. Untersuchungen von Blickbewegungen

Untersuchungen von Blickbewegungen haben in der psycho-physiologischen Forschung eine gute Tradition (Yarbus, 1967). Dabei bestehen enge Beziehungen zwischen dem Verlauf der Blickbewegungen und der Aufmerksamkeit. Bereits vor einer Sakkade verlagert sich die Aufmerksamkeit zum Ziel der Sakkade (Deubel & Schneider, 1996), man spricht von einer sichtbaren (overten) Verlagerung der Aufmerksamkeit. Allerdings folgt nicht jeder Verlagerung der Aufmerksamkeit eine entsprechende Augenbewegung. Im Falle der verdeckten (coverten) Verschiebung der Aufmerksamkeit findet gar keine Augenbewegung statt (Posner, 1980). Einige der oben genannten Studien haben aber auch darauf hingewiesen, dass die Aufmerksamkeit und die Augenbewegungen divergieren können. Mussten mehrere Objekte mit Blicken verfolgt werden, ging die Aufmerksamkeit mehr auf die Gruppe als auf einzelne Elemente. Viele Untersuchungen zum visuellen Verhalten sind durch Fragen der angewandten Psychologie und „social cognition“ motiviert. Hauptthema dieser Forschungen ist die Verarbeitung von Gesichtsausdrücken. Weitere Aspekte sind die experimentelle Erforschung der Sprachverarbeitung oder die Kontrolle von Reflexen bzw. Hirnfunktionen und des okulomotorischen Systems durch Nutzung von „Antisakkaden“. Im Falle von Anti-Sakkaden müssen die Probanden den Reflex unterdrücken, auf ein visuelles Ziel zu schauen und eine Augenbewegung in die entgegengesetzte Richtung ausführen (Munoz & Everling, 2004). Versuchspersonen, die in ihrer Freizeit am Computer spielen, zeigen kürzere Latenzen als Nichtspieler, aber keinen höheren Anteil der reflexhaften Richtungsfehler in dieser Aufgabe (Mack & Ilg, 2014).

Neuerdings werden Aufzeichnungen von Augenbewegungen auch in der fachdidaktischen Forschung eingesetzt. Während bei Hofmann (2011) in einer physikdidaktischen Studie die Textverarbeitung im Mittelpunkt der Untersuchung stand, geht es in vorliegender Studie allein um Bildverarbeitung ohne schriftliche Textanteile. In der Arbeit von Hofmann (2011) zu Blickbewegungsmessungen wurde diese Methode für die Untersuchung des Lesevorganges von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten eines Lernprogramms zur optischen Abbildung mit der Lochkamera genutzt. Mithilfe der Blickbewegungsmessung konnte sie Physiktexte finden, mit denen sich Schülerinnen und Schüler intensiv auseinandersetzten. Dies konnte auf Verständlichkeitsprobleme hindeuten und zur Optimierung von Physiktexten beitragen.

Kastenhofer vertritt die Ansicht, dass bei Biologiestudierenden „Sehen und Wissen zu einer Einheit geworden seien“ (2004, S. 111), wenn sie „das richtige Sehen auf mehrfache Weise eingeübt hätten“ (S. 112). Eine davon wäre das „Sehen mit dem Mikroskop“. Sie beschreibt dies als einen Prozess der Sozialisation in die „Wissenschaftsgemeinde“. „Kritikfähigkeit wird erst entwickelt, nachdem das Wesentliche richtig zu sehen eingeübt wurde.“ (ebenda, S. 112). Der Akt des Sehens sei verknüpft mit einem Nicht-Sehen konkurrierender ... und überflüssiger Informationen“ und der „Zerstörung alternativer Bilder“. Es würde dabei auch geübt, von Bildern zu Schemata zu wechseln und „Unterschiede der Abstraktionsstärken zu ignorieren“. „Das Schema wird so zu einer Ersatz-Natur“ (ebenda, S. 107). Abstraktion sei an manchen Stellen sogar die bessere Realität, „weil sie Wichtiges deutlich und Unwichtiges unsichtbar macht.“ Ist diese vermeintliche „naturwissenschaftliche Forschungstradition noch

zeitgemäß“? Erfolgen wesentliche Erkenntnisfortschritte nicht gerade durch das Infrage stellen des anscheinend Unmöglichen? Wären PCR, Prionen oder Epigenetik sonst überhaupt denkbar?

Ein „Scanpath“ ist das Ergebnis einer aufeinanderfolgenden Reihung von Fixationen und Sakkaden. Um Blickbewegungen auf Details von Bildern genau aufzeichnen zu können und Fehler zu vermeiden, ist eine zeitaufwändige Kalibrierung erforderlich. Wegen der Fülle an Information und der relativ aufwändigen Auswerteverfahren sind die Stichproben bei solchen Studien selten größer als 10 Probanden.

Im Bereich der Kunstgeschichte wurde z. B. der Frage nachgegangen, inwiefern das Vorwissen von Lernenden sowohl den kognitiven Mechanismus als auch den Lernerfolg beeinflusst. Die Fragestellungen wurden u. a. über Aufzeichnungen von Blickbewegungen untersucht. In einer Studie zu Benutzeroberflächen wurde der Einfluss der Nähe der Hand auf das Erlernen visuell-räumlicher und semantischer Inhalte aus dem Bereich der Kunstgeschichte untersucht (Brucker, Edelmann, Brömme & Gerjets, 2014). Es stellte sich heraus, dass visuell-räumliche Inhalte besser in der Nähe der Hände und semantische Inhalte besser in größerer Entfernung zu den Händen gelernt wurden. Für die „Konstruktionen“ von interaktiven Lernmodulen zur Histologie (IWB-Modulen) ist diese Erkenntnis sehr wichtig. Blickbewegungen beim Betrachten von Kunstwerken wurden auch von Quiroga & Pedreira (2011) untersucht (n=10, 1 min Betrachtungszeit). Zhao, Schnotz, Wagner & Gaschler (2014) berichteten nach Untersuchung von Text-Bild-Vergleichen (TPC) im biomedizinischen Zusammenhang, dass sich die visuelle Verarbeitung von Bildern und Texten unterscheidet. Sie erforschten mit Eye Tracking weder mikroskopische Bilder noch Fotos, sondern Schemata bzw. Grafiken aus Lehrbüchern.

Dahl, Wallraven, Bülhoff & Logothetis (2009) erkannten an wenigen Probanden, dass Menschen und Makaken beim Betrachten der Bilder von Gesichtern ähnliche Verarbeitungsstrategien anwenden (12 Sekunden Betrachtungszeit, drei Makaken, 12 Menschen).

Aber wie sieht es im Bereich der Biowissenschaften aus? In einer Studie mit professionellen Histologen (Dermatologen) im Vergleich zu Anwärtern und Laien (n=29) wurde erkannt, dass diese weniger Sakkaden einsetzen, um wesentliche Aspekte des digitalen histologischen Bildes (wie Melanome) zu fixieren und zu erkennen. „Novices had a longer and more complex gaze track pattern“ (Banzhaf et al., 2013). Jaarsma, Jarodzka, Nap, Van Merriënboer & Boshuizen (2013) verglichen die Äußerungen von klinischen Pathologen mit denen von Medizinstudenten nach einer 2 Sekunden währenden Betrachtungszeit mikroskopischer Abbilder und fanden heraus, dass in dieser kurzen Zeit Novizen seltener die relevanten Bildbereiche fixieren und weniger korrekt diagnostizierten.

Bei Histologen mit hohem Expertenstatus ist eine Reduktion der Zahl der Sakkaden und Fixationen nachweisbar (Banzhaf et al., 2013). Offenbar wird zügig das Zielgebiet fixiert.

Neben der Untersuchung von Blickbewegungen sollte natürlich zunächst geklärt sein, ob digitale histologische Bilder dem Umgang mit Originalen am Mikroskop ebenbürtig sind.

## 2.9. Digitale Bilder und Mikroskopie in den Biowissenschaften

Von der digitalen Mikroskopie profitieren im Bereich der Biowissenschaften bisher vor allem die universitäre Histologie, Anatomie und Pathologie. Merk, Knuechel & Perez-Bouza (2010) berichten von Medizin - Studierenden im Bereich Histopathologie (in drei Gruppen, n=192), die Zugang zu echten Mikropräparaten auf Glas und zu digitalisierten Bildern hatten. Vor dem Examen äußerten sie im Fragebogen eine hohe Akzeptanz sowie intensive Nutzung web-basierter histologischer Bilder. Merk et al. (2010) betonen, dass für ein Identifizieren relevanter Strukturen ein passgenaues Feedback notwendig wäre. Die zentrale Bedeutung des Mikroskopierens wird in dem Erlernen funktionsmorphologischer Konzepte in verschiedenen Naturwissenschaften und der Medizin gesehen. Obwohl die Ausbildung von Kompetenzen zur Mikroskopie eher im Bereich der professionellen Mikroskopie in Medizin und Wissenschaft erforscht wurde, u. a. bei Histologen (Jaarsma et al., 2013, Furness, 2007, Scoville & Buskirk, 2007, Romer & Suster 2003), wurde selbst auf diesem medizinischen Feld eingeschätzt, dass virtuelle Präparate aus manchen biologischen Disziplinen fehlten, didaktische Szenarien nur wenig vorhanden seien und ein Datenbanksystem zur Suche in umfangreichen Sammlungen fehle.

Der Vergleich konventioneller originaler Mikroskopie mit virtueller Mikroskopie weist nur leichte Vorteile der Originale bei Pathologen auf (Furness, 2007) bzw. bei klinischen Anatomen (Scoville & Buskirk, 2007). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Diagnosen auf Basis virtueller Bilder bzw. konventioneller mikroskopischer Präparate nachgewiesen werden, jedoch benötigten die Pathologen für die Deutung der virtuellen Bilder mehr Zeit (Furness, 2007).

### 3. Fragestellungen und Intention

Es ist denkbar, Eye Tracking als Instrument einzusetzen, um Effekte von Interventionen auf Lernerfolge zu prüfen. Beispielsweise arbeiten wir an der Klärung der Frage, inwiefern sich problemorientiertes Arbeiten beim Mikroskopieren als lernförderlich und effektiv erweist und wollen dies in Aufzeichnungen von Augenbewegungen prüfen. Weiter steht die Klärung der Frage an, ob unmittelbare Kombinationen von Schemata und histologischen Bildern die Erkenntnisprozesse fördern. Dies ist eine Voraussetzung für effektive IWB-Module zur Mikroskopie, an denen wir arbeiten.

Augenbewegungsdaten sollten einer sinnvollen Auswertungsprozedur unterzogen werden. Dazu gehören ein Erfassungsmuster der Ereignisse der Augenbewegungen, wie Fixationen und Sakkaden, in einem bestimmten Zeitablauf sowie bedeutungsvolle Parametrisierung dieser Ereignisse.

Es sollte bekannt sein, von welchen Variablen Anzahl und Verteilung von Sakkaden und Fixationen abhängig sind. Dies wollen wir zunächst inhaltsanalytisch prüfen. Bei größeren Stichproben werden quantitative Methoden einbezogen. Es ist beispielsweise zu vermuten, dass die Zahl der Sakkaden und Fixationen vom Expertenstatus abhängen könnte. Über die Art und Weise dieser Abhängigkeit bei Betrachtung mikroskopischer Bilder liegen nur Vermutungen vor, die von Studien in benachbarten Domänen (Pathologie und Histologie) bei

Experten abgeleitet wurden. Von Schülerinnen und Schülern lagen vor dieser Studie keine Erkenntnisse dazu vor.

Es wäre denkbar, dass Schülerinnen und Schüler auf höherem Kompetenzniveau histologische Bilder schneller durchmustern und mehr Sakkaden aufweisen. Es wäre ebenso annehmbar, dass ihr Blick länger auf relevanten Bereichen verweilt und dadurch weniger Sakkaden auftreten. Alternativ wäre denkbar, dass Schüler-Experten ein Optimum an Sakkaden aufweisen, das durch Novizen sowohl unter- als auch überschritten werden könnte. Auch die Vermutung, dass Experten die relevanten Areale schneller oder länger fixieren, ist in Analogie zu Histologen durchaus begründet.

Ein Modell der Beziehungen abhängiger und unabhängiger Variablen muss erst erarbeitet werden. Daher handelt es sich hier um eine erste deskriptive Studie in diesem Feld.

Unsere Fragen lauten:

- Geben die Anzahl oder die Verteilungsmuster von Sakkaden und Fixationen aus den Aufzeichnungen von Augenbewegungen Hinweise auf die erkannten histologischen Strukturen?
- Unterscheiden sich die Aufzeichnungen von Augenbewegungen in den Anzahlen bzw. Mustern der Sakkaden und Fixationen (qualitativ oder quantitativ) bei Probanden mit unterschiedlichem Kenntnisstand? Lassen sich Novizen oder Experten an den Augenbewegungen beim Betrachten histologischer Bilder unterscheiden?
- Lassen sich anhand der Blickbewegungen Messsysteme entwickeln, um Lernerfolge verschiedener Treatments (insbesondere mit und ohne Problemorientierung) zu beurteilen? Finden Experten schneller zu den relevanten Bildelementen als Novizen?
- Welche Hinweise für die Entwicklung von interaktiven digitalen Lernmaterialien zur Ergänzung der echten Mikroskopie lassen sich ableiten?

#### 4. Methoden

Es fanden Untersuchungen von Augenbewegungen (Eye Movement Patterns) mittels nichtinvasiver Videookulografie (Arrington Research USB220, Abtastfrequenz 220Hz, räumliche Auflösung  $0.01^\circ$ ) statt. Die Blickdaten wurden mit einem high Quality Tower Mounted Eye Tracker aufgenommen und mit einer Version der Software Matlab

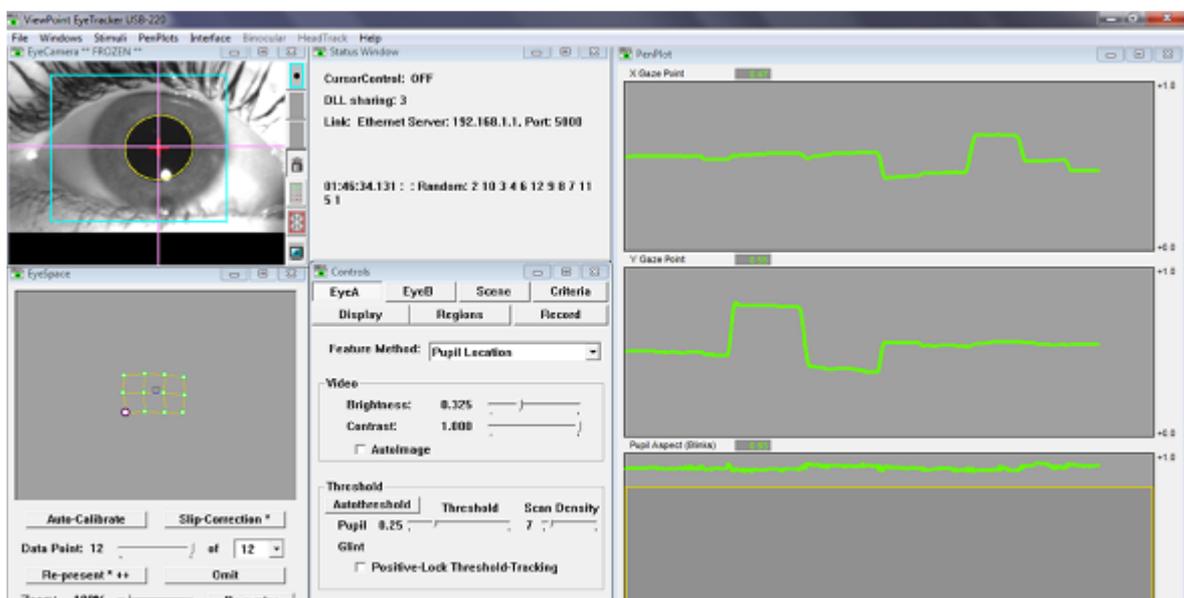
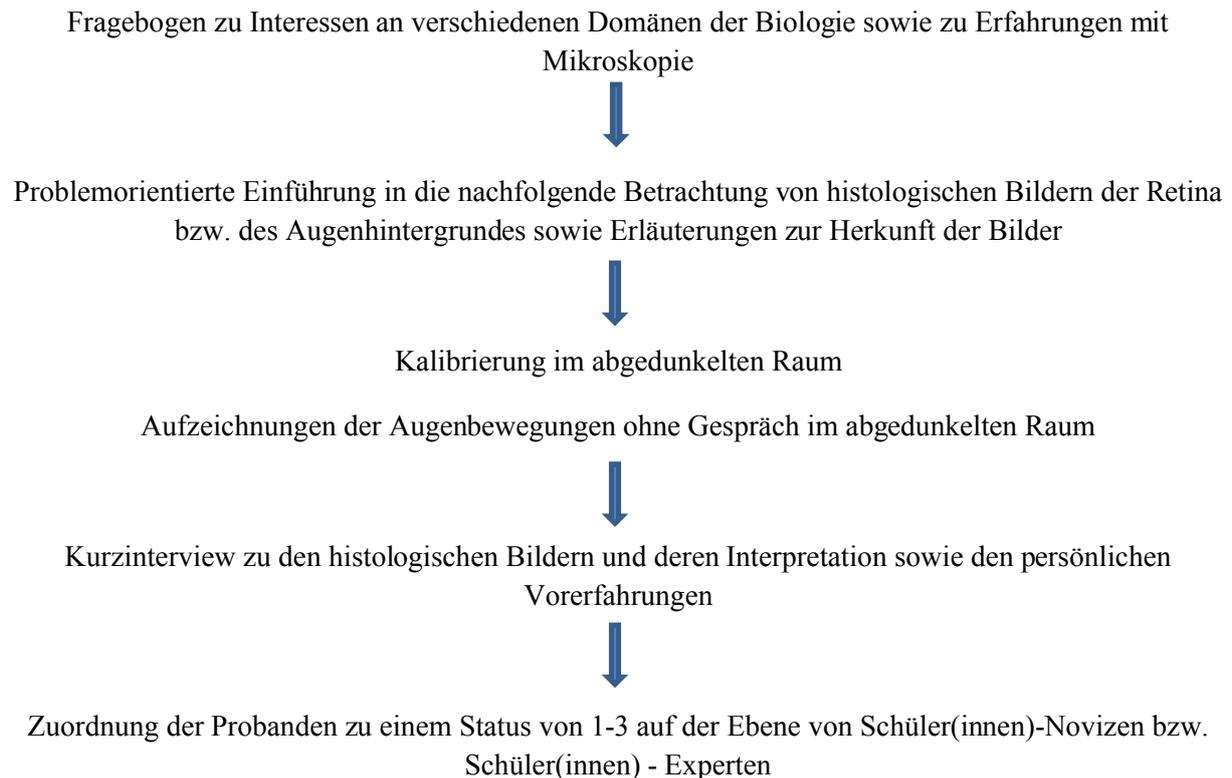


Abbildung 1: Nur eine aufwändige Kalibrierung (Screenshot) sichert zuverlässige Daten.

(MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States) ausgewertet.

Die Untersuchungen erfolgten an jugendlichen Schülerinnen und Schülern der gymnasialen Oberstufe bzw. Schulabsolventen im Tübinger Schülerlabor der Neurowissenschaften. Bei der Vorstudie handelte es sich um eine nahezu altershomogene Gruppe aus verschiedenen Schulen bzw. Schulabsolventen (Ferienakademie), bei der Hauptstudie um Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 12 aus verschiedenen Kursen einer Schule.

Abbildung 2: Schematischer Ablauf der Untersuchungen zu Augenbewegungen



Die Probanden wurden vorab einem kurzen Kenntnistest zu Zellen und Organen des menschlichen Körpers („Schulstoff“ zu Auge oder Nervensystem) unterzogen. Hinzu kamen ein Fragebogen zur Selbsteinschätzung von Interessen an biologischen Domänen (N.N. 2012) und Mikroskopierkompetenz (22 Items, Cronbachs Alpha >0.8). Mit „Mplus“ wurde eine konformatorische Faktorenanalyse (CFA) durchgeführt (Geiser, 2011). Nach Prüfung der Skalen zu Interessen bzw. Mikroskopierkompetenz wurden folgende manifeste Variablen der Hauptuntersuchung für die latente Variable „Selbsteinschätzung“ berücksichtigt: Interesse an Humanbiologie (f7), Selbsteinschätzung der Kompetenz beim Mikroskopieren (f14), gern mikroskopische Bilder betrachten (f20) (jeweils achtstufige Skalen mit 1 als höchstem Wert der Zustimmung, Cronbachs Alpha >0.95). Weitere manifeste Variablen aus dem Fragebogen im Pretest, z. B. zum mikroskopischen Zeichnen, wurden nach der Skalenprüfung mit Mplus ausgeschlossen.

Beim Eye Tracking wurden die Anzahl der Sakkaden bzw. Fixationen insgesamt sowie nach dem ersten, zweiten und dritten Drittel der Messzeit differenziert aufgezeichnet. Den Probanden wurden zuvor jeweils Aufgaben gestellt, bestimmte Zellstrukturen zu erkennen.

Als optische „Stimuli“ wurden histologische Bilder von Nervengewebe bzw. Sinnesorgane über einen Bildschirm präsentiert. Bei der *ersten Messreihe (Voruntersuchung)* wurden sechs Stimuli (Rückenmark, Motoneuronen, Kleinhirn, Purkinjezellen, Retina, Sehnerv) zu je sechs Sekunden aufgezeichnet.

Bei der *zweiten Messreihe (Hauptuntersuchung)* erfolgte eine längere problemorientierte Einführung nach einem Leitfaden. Dabei wurde die Aufgabe gestellt, in den histologischen Bildern jeweils nach Lichtsinneszellen zu suchen und diese zu fixieren. Die Anzahl der Stimuli wurde auf zwei reduziert. Als Stimuli wurden mikroskopische Aufnahmen der Retina (400-fach vergrößert) und des Blinden Flecks mit Sehnerv (100-fach) eingesetzt. Die Aufzeichnungen erfolgten über 12 Sekunden pro Stimulus. Auf einem schematischen Längsschnitt durch ein Auge wurde vorab erläutert, woher die zwei histologischen Bilder der Stimuli stammen. Die Ausschnitte von Retina bzw. Augenhintergrund wurden in genau der räumlichen Ausrichtung präsentiert, die dem vorab gezeigten Schema entsprach, diese wurde den Probanden auch vorab mitgeteilt. Die Aufgabe wurde noch einmal wiederholt: Suche nach Lichtsinneszellen!

Vor den Messungen wurden durch uns in den Stimuli, also den zu betrachtenden histologischen Bildern, verschiedene Bildbereiche festgelegt: Die Regionen mit optischen Auffälligkeiten wie Farbflecken o.ä. ohne Relevanz für die zelluläre Struktur wurden rot gekennzeichnet. Die Zielgebiete wurden grün umgrenzt als „Areas of Interests“ (AoI, siehe Abbildung 2), z. B. die Lichtsinneszellen der Retina in Vorstudie und Hauptstudie oder nur in der

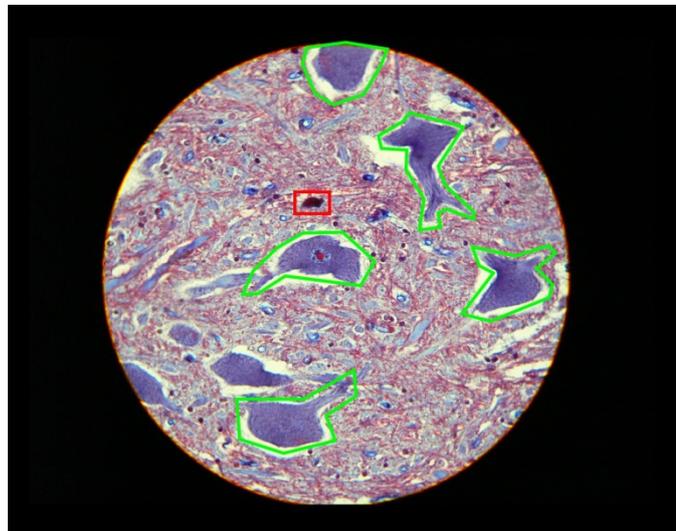


Abbildung 3: Stimulus der Vorstudie mit gekennzeichneten Arealen: Zellkörper der Motoneuronen (grün, AoI), Artefakt (rot) und Umfeld. 400-fache Vergrößerung

Vorstudie die Motoneuronen des Rückenmarks. Übrige nicht relevante Bereiche wurden als Umfeld gewertet. Diese Markierungen der „Areas of Interests“ waren für die Probanden nicht erkennbar, sind aber in den Scanpath – Dokumenten ersichtlich.

Die Aufzeichnung der Augenbewegungen beginnt nach Kalibrierung immer mit einer Fixation in der Bildmitte. Damit dieser Startpunkt inhaltliche Aspekte nicht überlagert, wurde im Unterschied zur Voruntersuchung der Sehnerv im Stimulus in der Hauptuntersuchung exzentrisch platziert und um 90° gedreht. Artefakte durch Blinzeln der Probanden wurden automatisch identifiziert und aus den Daten entfernt.

Um Bewegungsartefakte zu minimieren, wurden die Probanden in einer Kinn- und Stirnstütze fixiert und angewiesen während der Messung nicht zu sprechen. Im Anschluss an die Aufzeichnungen fanden mündliche kurze Befragungen statt. Dazu wurden die als Stimulus präsentierten histologischen Abbilder erneut verwendet (Farbkopien). Nach Moser (2003, S.

95) handelt es sich bei dem von uns angewandten Kurzinterview um ein fokussiertes Interview mit Dominanz von „Wissensfragen“, ergänzt um „Gefühlsfragen“ und „Sinnesfragen“ (abgedunkelter Raum, Verunsicherung durch Vergrößerung der Abbildung oder ungewohnte Situation, Möglichkeit des Anknüpfens an Bekanntes und schulische Vorerfahrungen...). Nach Konrad (2011, S. 28) handelte es sich um stark strukturierte Einzelinterviews. Die Interviewfragen lauteten:

- Haben Sie schon einmal an einer Untersuchung mit Aufzeichnungen von Augenbewegungen (Eye Tracking) teilgenommen? (ungewohnte Situation mit Dunkelheit...)
- Wird bei Ihnen in der Schule oft mikroskopiert? Erzählen Sie bitte...!
- Wann wurde das Thema Auge zuletzt behandelt? Bitte erinnern Sie sich...!
- Nun zu den Abbildungen (als Farbkopie vorliegend): Mich würde interessieren, welche Strukturen Sie erkennen konnten? Was ist Ihnen besonders aufgefallen?
- Hat die Betrachtungszeit ausgereicht?
- Welche Fragen haben Sie an uns?

Nach folgenden Kriterien wurden alle Probanden je Stimulus jeweils der Niveaustufe 1 (Schüler(innen)-Novize), 2 oder 3 (Schüler(innen)-Experte) zugeordnet: besuchte Workshops im Schülerlabor bzw. spezielle Qualifizierung durch Tutorentätigkeit / formale Qualifikation, Kenntnistest zu relevanten biologischen Begriffen, Kurzinterviews nach Aufzeichnung der Augenbewegungen und dort entäußerte Kenntnisse. Diese Zuordnungen erfolgten durch zwei Personen (Intersubjektivität).

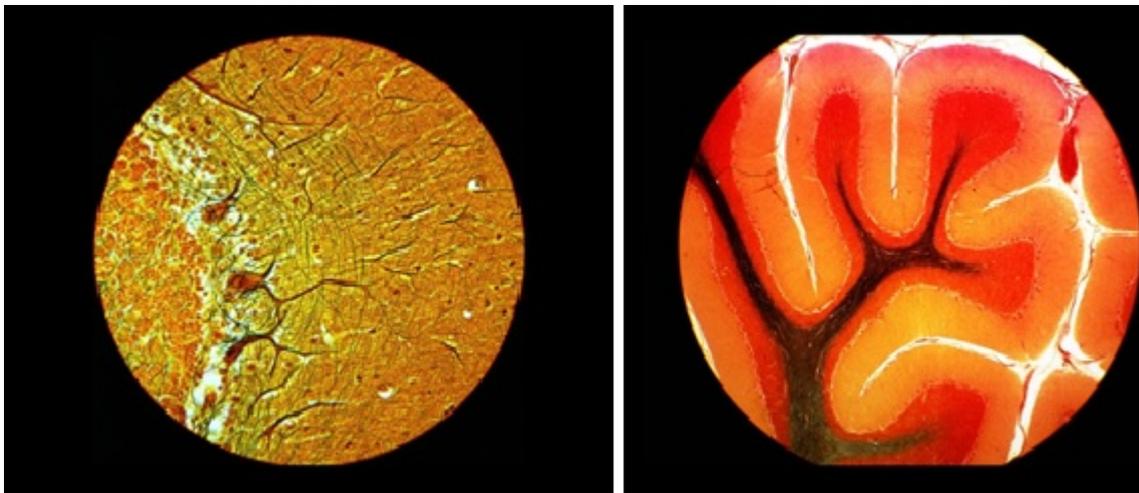


Abbildung 4: Bild- Paar Stimulus aus der Voruntersuchung, Kleinhirn 400-fach vergrößert und 40-fach vergrößert in der für die Probanden sichtbaren Version ohne Markierungen von „areas of interests“ (AoI) bzw. Artefakten

## 5. Ergebnisse

Von allen Probanden wurden der gesamte Scanpath sowie die Fixationen im ersten, zweiten und dritten Drittel der Messzeit und die Summe der Fixationen grafisch abgebildet. Ebenfalls vom Computer gemessen wurde die Zahl der Sakkaden pro Stimulus.

Innerhalb von 12 sec. Betrachtungszeit (Hauptuntersuchungen) des mikroskopischen Bildes erfolgen durch die 29 Probanden etwa 33 Sakkaden bzw. Fixationen, unabhängig von deren Status als Schüler(innen)-Experten oder Schüler(innen)-Novizen.

Bei Stimulus 1 (Retina in 400-facher Vergrößerung) liegt das arithmetische Mittel der Zahl der Fixationen bei 32,8; SD (Standardabweichung) 3,74. Bei Stimulus 2 (Blinder Fleck und Augenhintergrund in 100-facher Vergrößerung) liegt das arithmetische Mittel der Zahl der Fixationen bei 34,03; SD 3,67.

### **5.1. Allgemeine Ergebnisse**

Die Gesamt-Anzahl der Sakkaden bzw. Fixationen pro Stimulus in der Messzeit und der Schüler(innen)-Expertenstatus (in drei Kategorien 1 bis 3, unterschieden nach Interview und Selbsteinschätzung von Kenntnissen) korrelieren nicht.

Bei Probanden mit gutem Fachwissen fällt ein größerer Anteil der Fixationen auf die Zielzellen (z. B. der Netzhaut). Dies ist signifikant bei dem histologischen Bild des Augenhintergrundes mit Sehnerv und nur schmalen sichtbaren Bereichen der Retina (Stimulus 2 der Hauptuntersuchung). Bei diesem Bild korrelieren Schüler(innen)-Expertenstatus und Zahl der Fixationen im AoI auf dem Niveau von 0,05. ( $r_{\text{Pearson}} = 0,373^*$ ). Leichte Korrelationen gibt es auch zwischen der Selbsteinschätzung der eigenen Mikroskopierkompetenz (Fragebogen) und den Fixationen im AoI.

Die bei Histologen mit hohem Expertenstatus nachweisbare Reduktion der Zahl der Sakkaden und Fixationen war bei unseren Probanden nicht zu finden (Banzhaf et al., 2013).

### **5.2. Typische Beispiele**

Es konnten verschiedene **Typen** von Probanden erkannt werden. Diese Typen beschreiben verschiedene Strategien der Sinnfindung bei der Bildbetrachtung.

#### **Typ 1: Flüchtiger Blick ohne bestimmten Fokus**

Der folgende Datensatz ist typisch für einen Schüler-**Novizen**, der am Augenhintergrund im Bereich des blinden Flecks die Lichtsinneszellen nicht bewusst erkannte, obwohl sie durch seine Sakkaden kurz gestreift werden. Die Abbildungen 5 bis 7 geben den Verlauf der Sakkaden über 6 Sekunden sowie die Verteilungsmuster der Sakkaden wieder (Voruntersuchung). Die erste Sekunde ist durch blaue Punkte und Linien erkennbar, die Blickbewegungen der übrigen 5 Sekunden sind durch rote Markierungen erkennbar. Die Testperson wurde der Stufe 1 bezüglich ihrer Kenntnisse eingeordnet (Schüler-Novize ALAL0396).

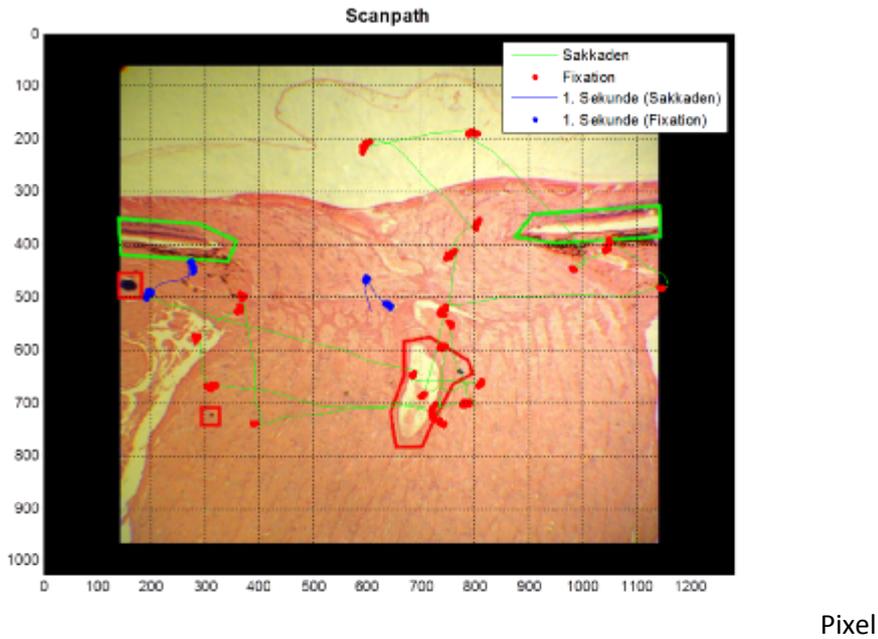


Abbildung 5: Scanpath einer Testperson (Novize ALAL0396) bei der Voruntersuchung zum Stimulus Augenhintergrund auf der Suche nach Lichtsinneszellen, 100-fache Vergrößerung, die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)

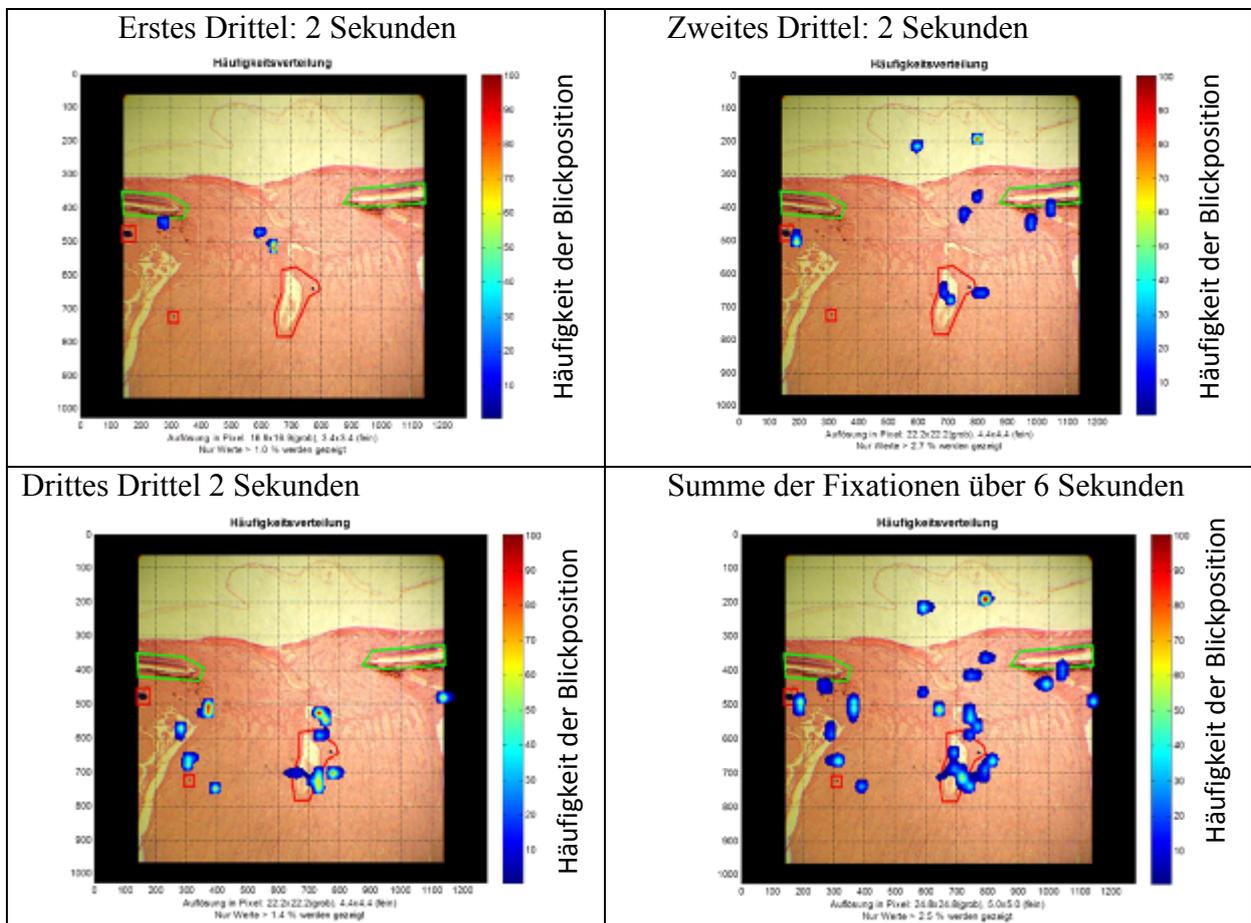


Abbildung 6: Die Bildfolge zeigt die aufgezeichneten Fixationen aus der ersten Messreihe (Voruntersuchung) der oben genannten Testperson ALAL0396 bei 100-facher Vergrößerung. Bei dieser Testperson ALAL0396 fallen die meisten Fixationen nicht in die AoI. Die "Heatmap" zeigt die Anzahl der Samples und damit die Dauer der Fixationen.

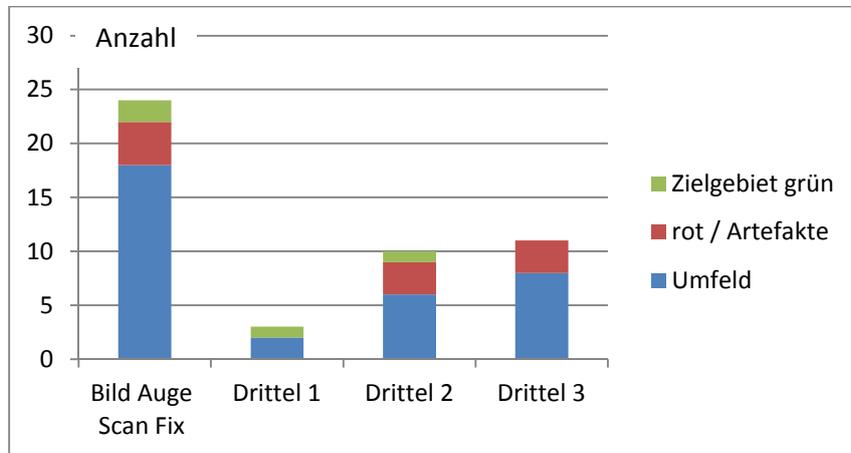
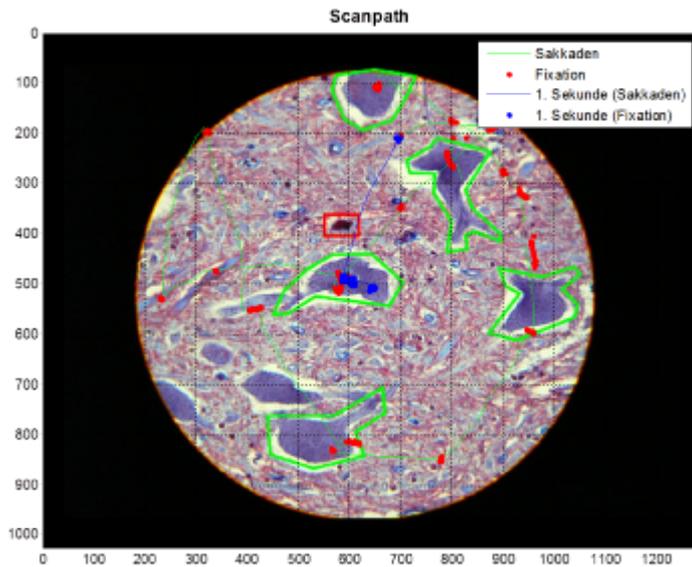


Abbildung 7: Die Balkengrafik zeigt den zeitlichen Verlauf der Fixationen beim Stimulus Augenhintergrund in 100-facher Vergrößerung bei der oben genannten Testperson (Schüler-Novize ALAL0396)

Viele Probanden waren diesem Typ ohne zielgerichtetes Suchen zuzuordnen, auch in der Hauptuntersuchung. Den Sehnerv erkannten nur wenige Probanden im Bild, obwohl der blinde Fleck zum klassischen Schulstoff gehört. Häufig wurde der Sehnerv in den nachfolgenden Befragungen als „Muskel“ interpretiert. Dieses Fehldeuten des Sehnervs in seiner Position zu den Lichtsinneszellen der Retina wurde auch durch Analyse der Fixationen offensichtlich.

### **Typ 2: zum Transfer fähige Seherin**

Beim Stimulus „Rückenmark“ in der Voruntersuchung galt die Betrachtungsaufgabe, Nervenzellen zu finden. Die Testperson (hier weiblich) kann sich gut in den histologischen Abbildungen orientieren. Sie erkennt Nervenzellen wie gewünscht sowohl im Rückenmark, als auch im Kleinhirn. Sie kann die Retina im Präparat des Augenhintergrundes identifizieren. Zwar hält sie auch die Rückenmarkszellen für Gehirnzellen, aber dies ist bei fehlenden Hintergrundinformationen nachvollziehbar (siehe Abbildung 8 und 10).



Pixel

Abbildung 8: Schülerexpertin in der Vorstudie, Stimulus Rückenmark, REHA0496, 400-fache Vergrößerung, die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)

7 Fixationen betreffen die AoI, 12 das Umfeld. Das Bild wurde weiträumig gemustert, ebenso der Stimulus Kleinhirn, dann aber auch die Zielzellen fixiert. Diese Testperson identifizierte auch die Netzhautausschnitte beim Präparat des Augenhintergrundes (7 Fixationen im AoI, 13 im Umfeld, 5 Artefakte, insgesamt 27 Fixationen beim Augenhintergrund). Die Balkengrafik in Abbildung 8 zeigt exemplarisch den zeitlichen Verlauf der Fixationen.

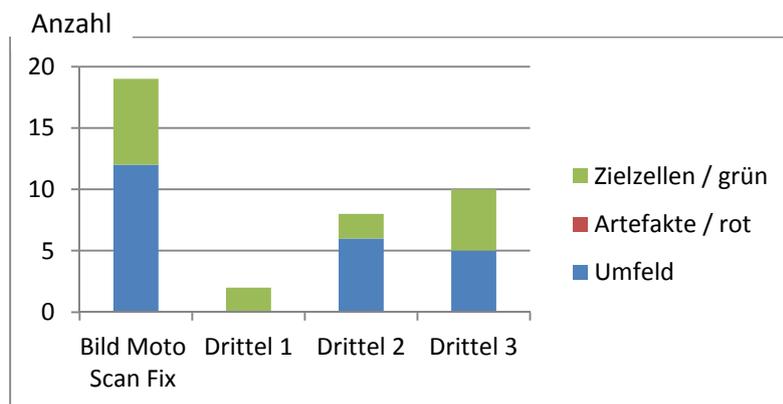
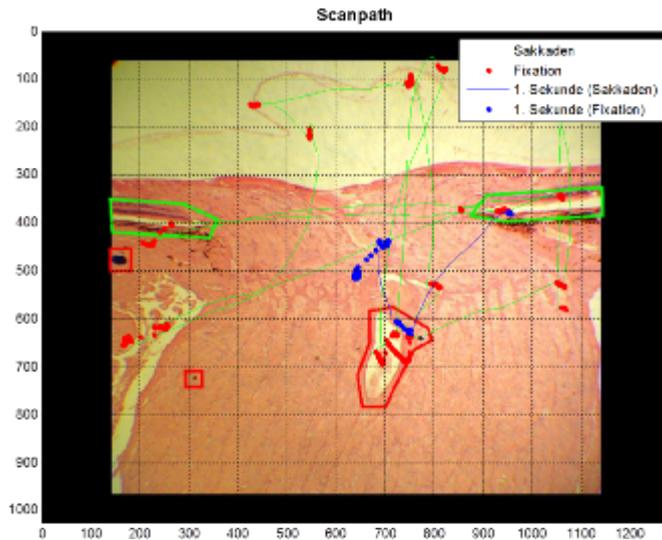


Abbildung 9: zeitlicher Verlauf der Fixationen REHA0496 zum Stimulus Rückenmark und Motoneuronen durch eine Schülerexpertin

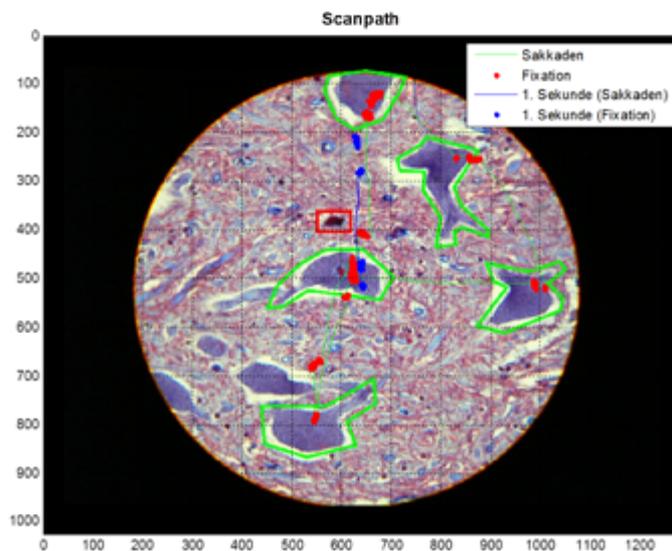


Pixel

Abbildung 10: Stimulus Augenhintergrund aus der Voruntersuchung von Schülerexpertin REHA0496 mit 9 Fixationen im AoI, 5 bei nicht relevanten Strukturen und 13 Fixationen im Umfeld (100-fache Vergrößerung); die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)

### Typ 3: Wiedererkennen typischer Zellen ohne Transfer

Motoneuronen erkennt auch die Testperson REGE0996 (Abbildung 11), allerdings kann der Proband Stimuli zur Netzhaut nicht adäquat deuten. Er ist Stufe 2 des Expertenstatus zuzuordnen.



Pixel

Abbildung 11: Scanpath des Stimulus Rückenmark mit Motoneuronen von REGE0996 mit guten Anatomiekenntnissen und wenig Mikroskopie-Erfahrung (400-fache Vergrößerung); die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)

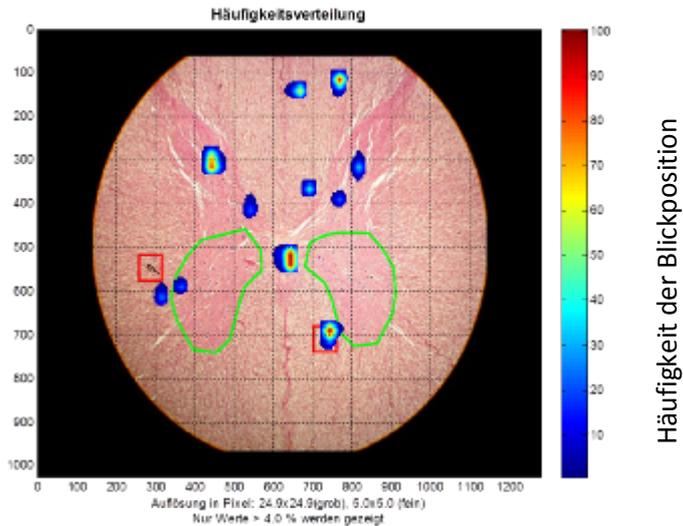
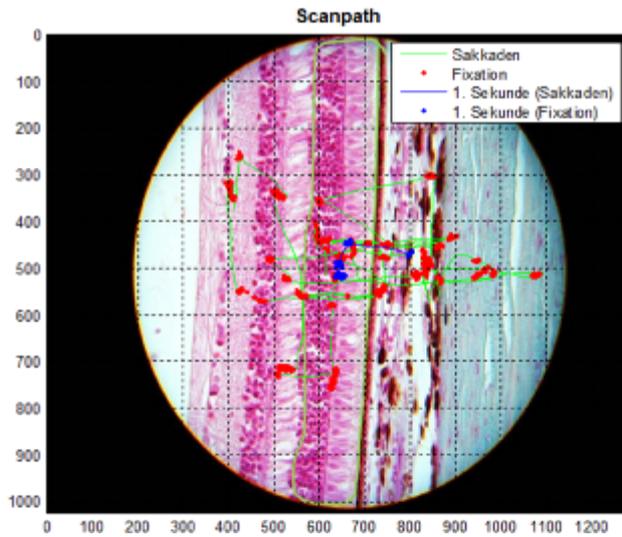


Abbildung 12: Summe der Fixationen von Proband mit Code REGE0996, Stimulus Rückenmark (40-fache Vergrößerung)

Der Proband zeigte hier auf der Suche nach Nervenzellen insgesamt 12 Fixationen, davon 4 Artefakte betreffend, 4 in der grauen Substanz und 4 in der weißen Substanz.

#### **Typ 4: kundige und genaue Suche zwischen benachbarten Zellschichten der Retina**

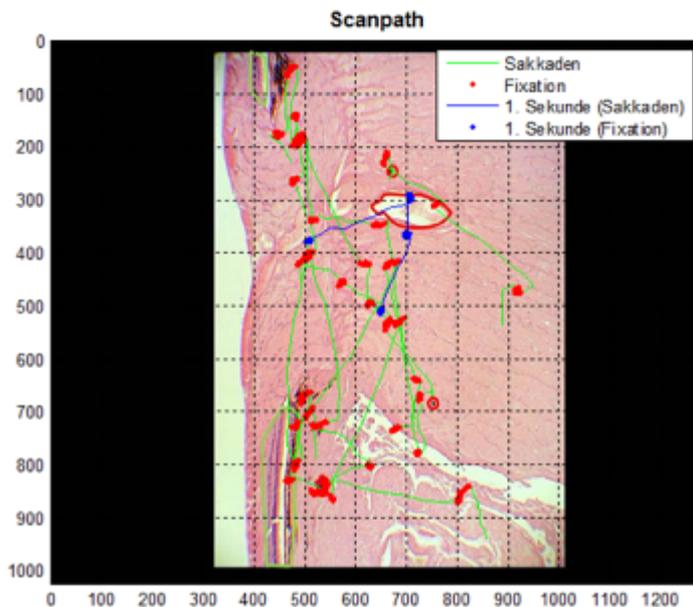
An den Blickbewegungen lässt sich qualitativ analysieren, ob eine Probandin oder ein Proband beim Stimulus Retina auf der Suche nach Stäbchen und Zapfen beispielsweise Bipolarzellen oder wirklich die Lichtsinneszellen (Stäbchen, Zapfen) fixierte. So artikuliert eine Testperson (weiblich) nach der Aufzeichnung, sie hätte zwischen zwei Bereichen gesucht (den gefärbten Kernen der Bipolarzellen und dem Kernen der Lichtsinneszellen in deren Innensegment) sowie den dazwischen liegenden helleren Verschaltungen. Diese Interview-Äußerungen decken sich mit dem Scanpath (Abbildung 13). Auch die Pigmentschicht wurde korrekt identifiziert (Schülerexpertin ANRA1195).



Pixel

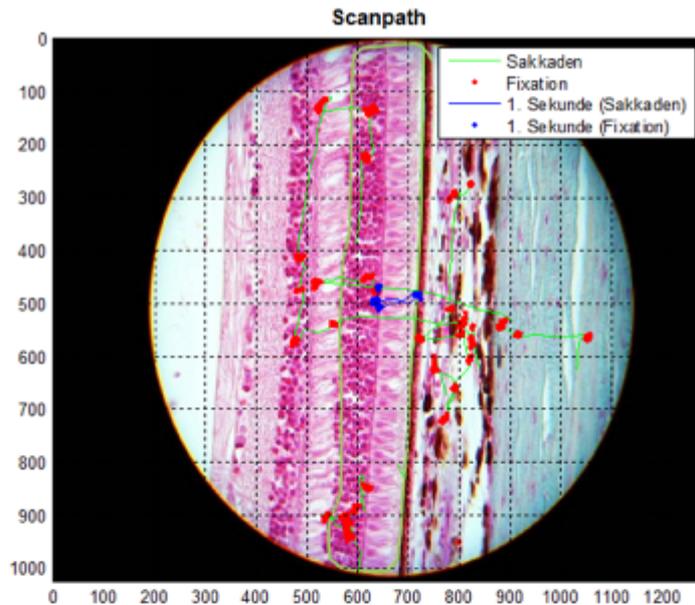
Abbildung 13: Schülerexpertin ANRA1195 zeigt den Suchprozess nach Lichtsinneszellen und die Prüfung der Bipolarzellen (Hauptuntersuchung 35 Sakkaden) 400-fache Vergrößerung; die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)

Ein Beispiel für den Schüler-Expertenstatus (weiblich) ist Testperson ANJÜ0494 (Abbildung 14). Sie entäußert präzise Kenntnisse zu inversem und eversem Auge, stellt Parallelen zum Tintenfischauge her und hatte kürzlich eine Lernstation zum Thema Auge besucht. Mit Lichtsinneszellen ist sie bestens vertraut und kann alle Strukturen zutreffend interpretieren (Abbildung 15) Es wurden 37 Sakkaden registriert.



Pixel

Abbildung 14: Schülerexpertin ANJÜ0494 mit 37 Sakkaden zum Stimulus Augenhintergrund und richtiger Interpretation der histologischen Strukturen (100-fache Vergrößerung); die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)



Pixel

Abbildung 15: Schülerexpertin ANJÜ0494 mit 34 Sakkaden zum Stimulus Retina und korrekter Benennung der Lichtsinneszellen, AoI mit 14 Fixationen, Bipolarzellen 5 und übriges Umfeld 15 Fixationen (400-fache Vergrößerung); die x- und y-Koordinaten beziehen sich auf die Pixelauflösung des Bildschirms (1280 auf 1024)

Auch bei Experten schweift der Blick durch das gesamte Bild, eine hohe Zahl von Fixationen konzentriert sich jedoch auf die Zielzellen. Die Probandin der Stufe 3 (Expertin) ist relativ gut informiert, kann sich nach dem orientierenden Blicken über das gesamte Präparat zügig zu den Zielzellen hin orientieren.

Als weiteres Beispiel wird hier Testperson SUPE0396 gewählt (Abbildung 16). Der Proband hatte kürzlich ein Lernmodul zum Thema Auge belegt, allerdings ohne Mikroskopie.

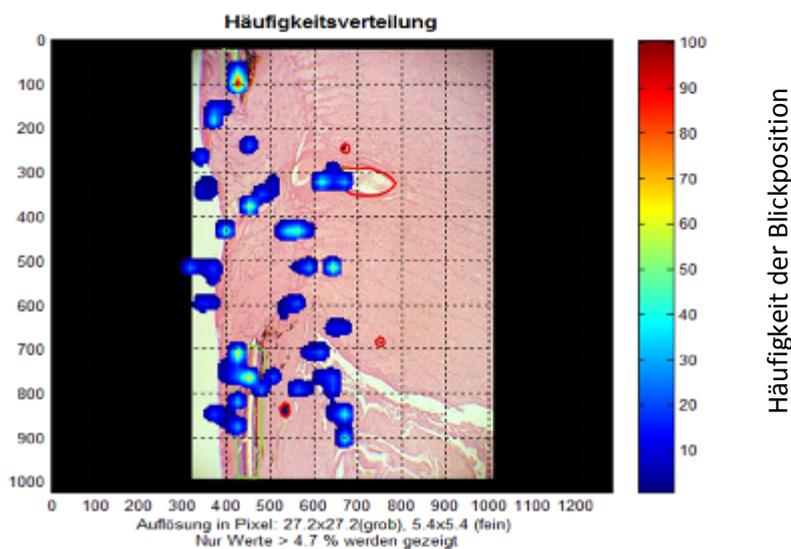


Abbildung 16: Schülerexperte mit Code SUPE0396 bei Stimulus 2 der Hauptuntersuchung (100-fache Vergrößerung)

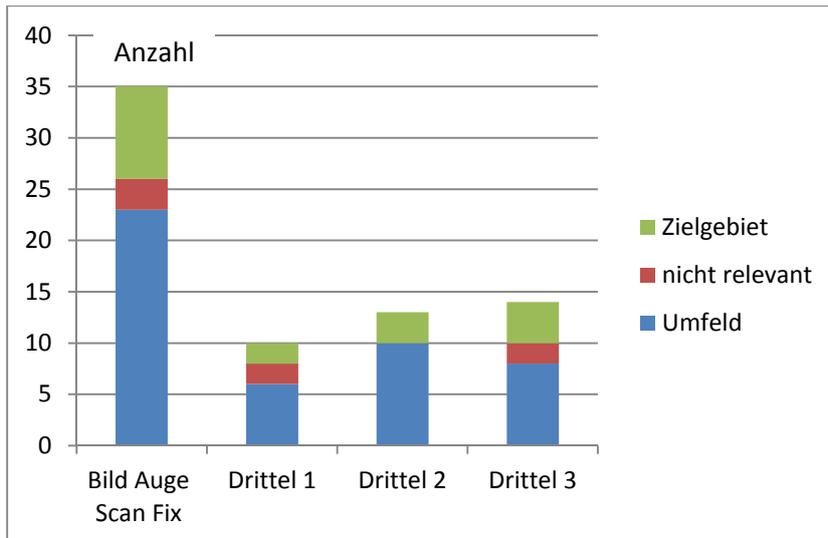


Abbildung 17: Schülerexperte mit Code SUPE0396 bei Stimulus 2 der Hauptuntersuchung, Verteilung der Fixationen (Stimulus Augenhintergrund in 100-facher Vergrößerung)

Bei der Betrachtung des Bildes mit Blindem Fleck wurden 35 Sakkaden gefunden. Davon entfielen 9 auf die AoI, drei auf rot markierte Bereiche und 23 auf das Umfeld (Abbildung 16). Die Testperson erkannte sowohl die Aderhaut, als auch die Lichtsinneszellen beim Bild der Retina (Abbildung 18). und den beim hier gezeigten Bild des Augenhintergrundes Sie wurde als Schüler-Experte (Stufe 3) eingestuft. Auf das Bild der Retina entfielen 30 Sakkaden, davon 8 auf Kerne der Lichtsinneszellen, 6 auf Bipolarzellen und 16 auf das übrige Umfeld.

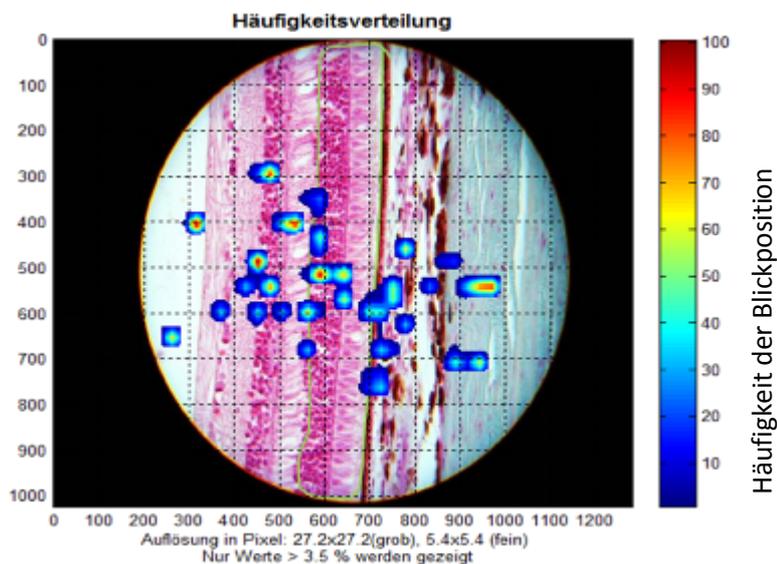
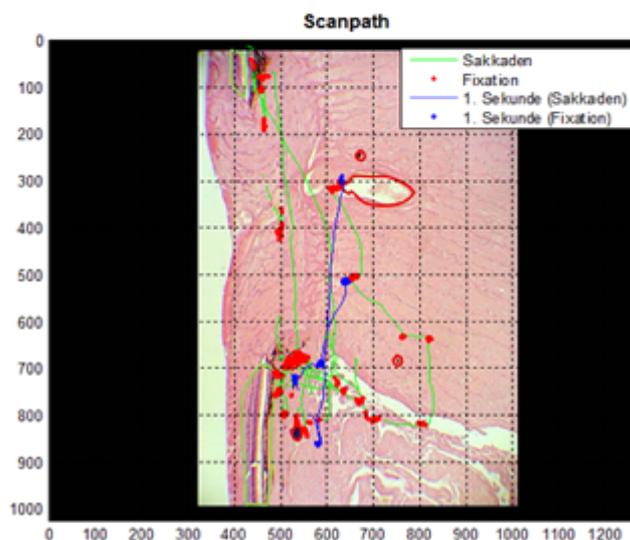
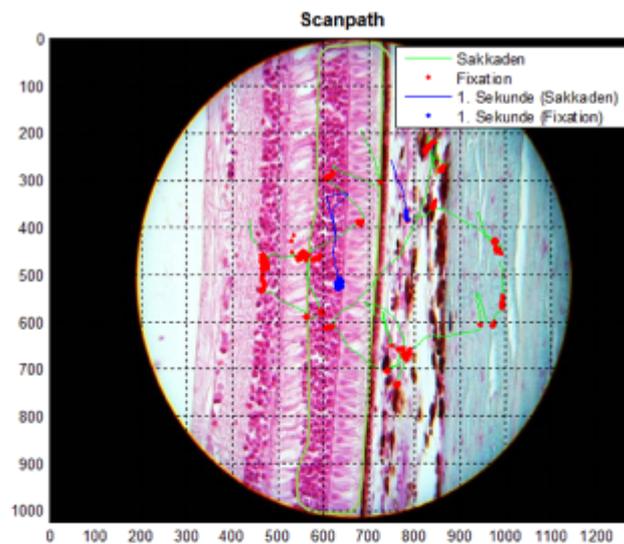


Abbildung 18: Schülerexperte mit Code SUPE0396 bei Stimulus 1 (400-fache Vergrößerung)

### Typ 5: Orientierung auf Kontraste Hell/ Dunkel

Nachfolgender Proband (männlich) KARO0495 hat wenig Übung und findet einige wesentliche Strukturen nicht, er wird Stufe 2 zugeordnet. Die als Beispiel gewählte Testperson gibt an, das Auge zuletzt in Klasse 8 behandelt zu haben. Der Sehnerv wird nicht

als solcher erkannt (Interview). Anscheinend ist die Grenze zwischen Sehnerv und Lederhaut auffällig, auf ihr verweilen anteilig viele Fixationen, ebenso auf der dunklen Aderhaut. Der so bezeichnete „dunkle Bildrand“ (gemeint ist die Aderhaut) wird auf beiden Bildern (Abbildung 19) als übereinstimmend bezeichnet. Dies ist zutreffend, eine Zuordnung des relevanten Begriffes Aderhaut erfolgt jedoch nicht durch die Testperson.



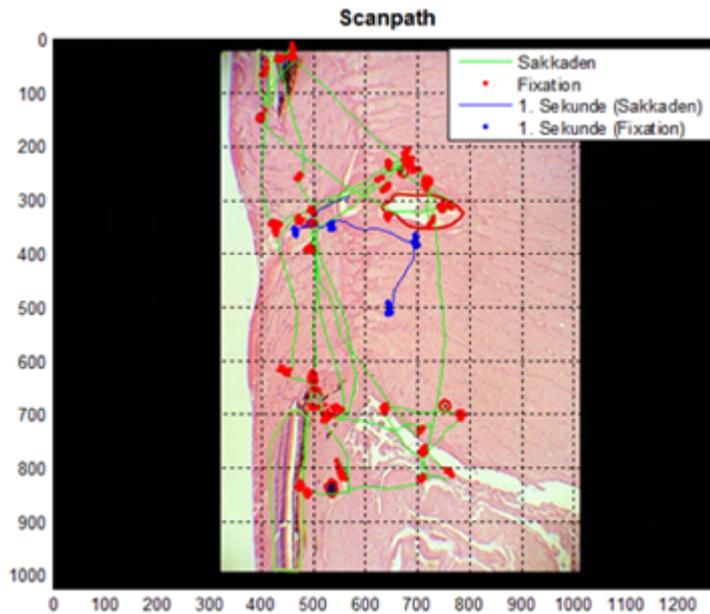
Pixel

Abbildungen 19: Bild-Paar Stimuli der Testperson KARO0495 Stufe 2, welche dunkle Bereiche (Aderhaut) bevorzugt fixiert. Oben 400-fache Vergrößerung, unten 100-fache Vergrößerung (die Drehung und unsymmetrische Anordnung gegenüber der Voruntersuchung erfolgte, um eine Häufung von Fixationen in Bildmitte, dem Startpunkt jeder Aufzeichnung, zu vermeiden)

### Beispiel 2 für Typ 5: Berücksichtigung starker Kontraste zwischen Hell und Dunkel

Dieses Vorgehen ist bei Abbildung 20 deutlich erkennbar: Bei Stimulus 2 (Augenhintergrund) wurden bei dieser Testperson mit Code DOMI1095 insgesamt 39 Sakkaden gefunden. Überwiegend wurden dunkle und helle Stellen mit Kontrasten fixiert. Die Zahl der Sakkaden

ist überdurchschnittlich hoch. Es wurde auf der Suche nach Lichtsinneszellen eher die Pigmentschicht fixiert als die Retina. Das qualitativ hervortretende Merkmal ist bei diesem Probanden die starke Orientierung an hellen und dunklen Bereichen.



Pixel

Abbildung 20: Der Proband mit Code DOMI1095 (Schüler-Novize) fixiert bevorzugt kontrastreiche Bildausschnitte beim Stimulus Augenhintergrund (100-fache Vergrößerung)

### Typ 6: Suche nach Lichtsinneszellen auf der dem Licht zugewandten Seite der Retina

Dieses Vorgehen repräsentiert das Beispiel einer Testperson (männlich), die als Novize bezüglich der Histologie und der Kenntnisse zum Auge zu bezeichnen ist (Stufe 1). Dieser Abiturient in Klasse 12 gibt an, das Auge zuletzt in Klasse 8 kennengelernt zu haben. Er äußert Schwierigkeiten, sich das Innere des Auges vorzustellen. Die Lichtsinneszellen wurden nicht erkannt, bekundete er beim Interview. Die Aufzeichnungen zeigen: Der Suchprozess nach den Lichtsinneszellen offenbart zahlreiche Fixationen in der *dem Licht zugewandten* Seite der Retina (Abbildung 21). Um dieses qualitativ auffällige Vorgehen zu prüfen, wurden ergänzend folgende Daten berücksichtigt: Die Messapparatur registrierte folgende Verteilung: links 68,8% und rechts 32,2%, also insgesamt deutlich mehr im linken Bildabschnitt. Insgesamt wurden durch die Messapparatur 37 Sakkaden registriert.

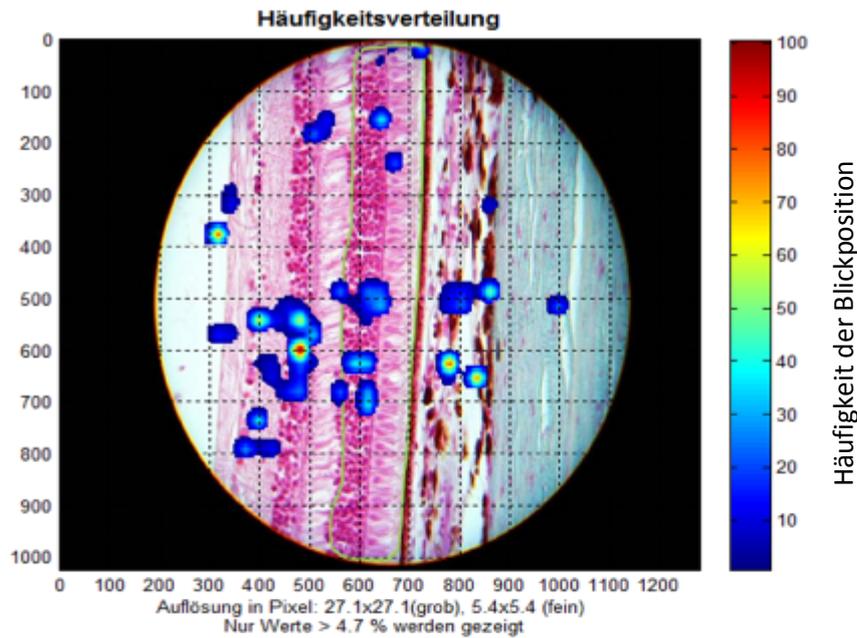
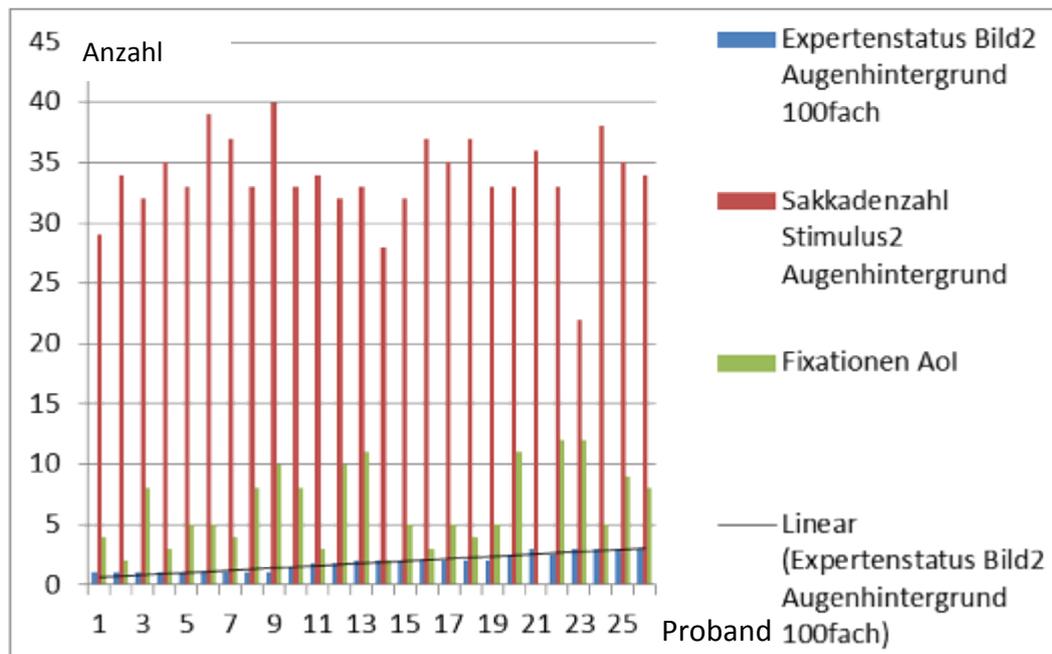


Abbildung 21: Der Proband mit Code DOMI1095 (Novize) sucht Lichtsinneszellen auf der dem Licht zugewandten Seite der Retina (400-fache Vergrößerung).

### 5.3. Zusammenhänge zwischen Sakkadenzahl und AoI unter Berücksichtigung der Einzelfälle der Hauptstudie

Die Daten der Abiturienten der Hauptstudie (Abbildung 22 A/ B) zeigen sowohl die Gesamtzahl der Sakkaden und zusätzlich die Zahl der Fixationen im Zielgebiet (AoI). Alle Probanden wurden nach Expertenstatus geordnet (mit Trendlinie) abgebildet. Beim Stimulus 1 Retina wurden zudem die Fixationen auf Bipolarzellen abgetragen, die den gesuchten Lichtsinneszellen unmittelbar benachbart liegen.



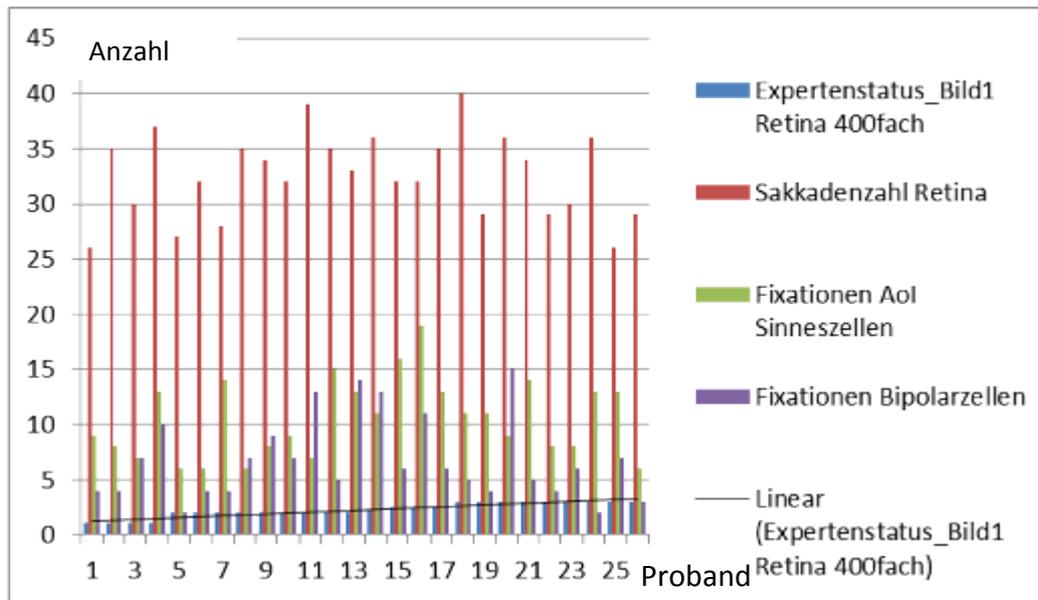


Abbildung 22 A/ B: Werte von Expertenstatus (1 bis 3), gezählte Fixationen in der AoI sowie Gesamtzahl der Fixationen / Sakkaden bei den Probanden der Hauptstudie mit  $n=26$  vollständigen Datensätzen, A Stimulus 2 Augenhintergrund 100 fach, B Stimulus 1 Retina 400 –fach

#### 5.4. Quantitative Auswertung der Hauptstudie

Die arithmetischen Mittelwerte aus dem Fragebogen zu Interessen (vor dem Eye Tracking) für die drei verwendeten manifesten Variablen lagen bei: Humanbiologisches Interesse:  $M$  2,65;  $SD$  1,62 ( $n=26$  gültige Werte); Selbsteinschätzung der Mikroskopier-Kompetenz:  $M$  3,5;  $SD$  1,58 und gern mikroskopische Bilder betrachten:  $M$  3,58;  $SD$  1,53. Das für die Modellrechnung ausgeschlossene Item zur Neigung zum mikroskopischen Zeichnen ergab einen Mittelwert von  $M$  5,38;  $SD$  2,35. Die manifeste Variable Interesse an Humanbiologie (f7) lädt von den drei Variablen am stärksten auf die latente Variable „Selbsteinschätzung“ (int): 0.962. Die Variable Interesse an Humanbiologie (f7) korreliert mit der Variable Selbsteinschätzung der Kompetenz beim Mikroskopieren (f14).

In die Modellrechnung mit Mplus wurden die gezählten „Treffer“ in der grün markierten „Area of Interest“ (AoI) jedes Stimulus (Stimulus 1 grün markierte AoI, kurz „b1gru“ und Stimulus 2 grün markierte AoI, kurz „b2gru“) einbezogen. Weitere Variablen sind die Einschätzungen des „Expertenstatus“ (kurz: expb1; expb2) für jeden der zwei Stimuli (dreistufig). Die beiden Variablen zum Expertenstatus (expb1; expb2) sind nicht identisch, aber sie korrelieren

Nach der Modellrechnung gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Expertenstatus und den gezählten Treffern in der „Area of Interest“ bei Stimulus 2 (Augenhintergrund mit Sehnerv, 100-fach vergrößert), das standardisierte Regressionsgewicht liegt bei 0.393. Diese „Trefferquote“ hing jedoch kaum von der Selbsteinschätzung der Probanden (latente Variable: int) ab. Die Variable Expertenstatus Stimulus 2 (expb2) klärt 27,6% der Varianz von der Variable Treffer in der grün markierten „Area of Interest“ (b2gru).

Wegen der geringen Stichprobengröße wurde ein Signifikanzniveau von 10% akzeptiert (Chi-Quadrat-Test of Model Fit:  $p = 0.4152$ ).

Die Zahl der Treffer in Stimulus 1 (Retina) und Stimulus 2 (Augenhintergrund) unterscheidet sich signifikant, nicht jedoch die gemessene Gesamtzahl der Sakkaden (t-Test) bei Stimulus 1 und Stimulus 2.

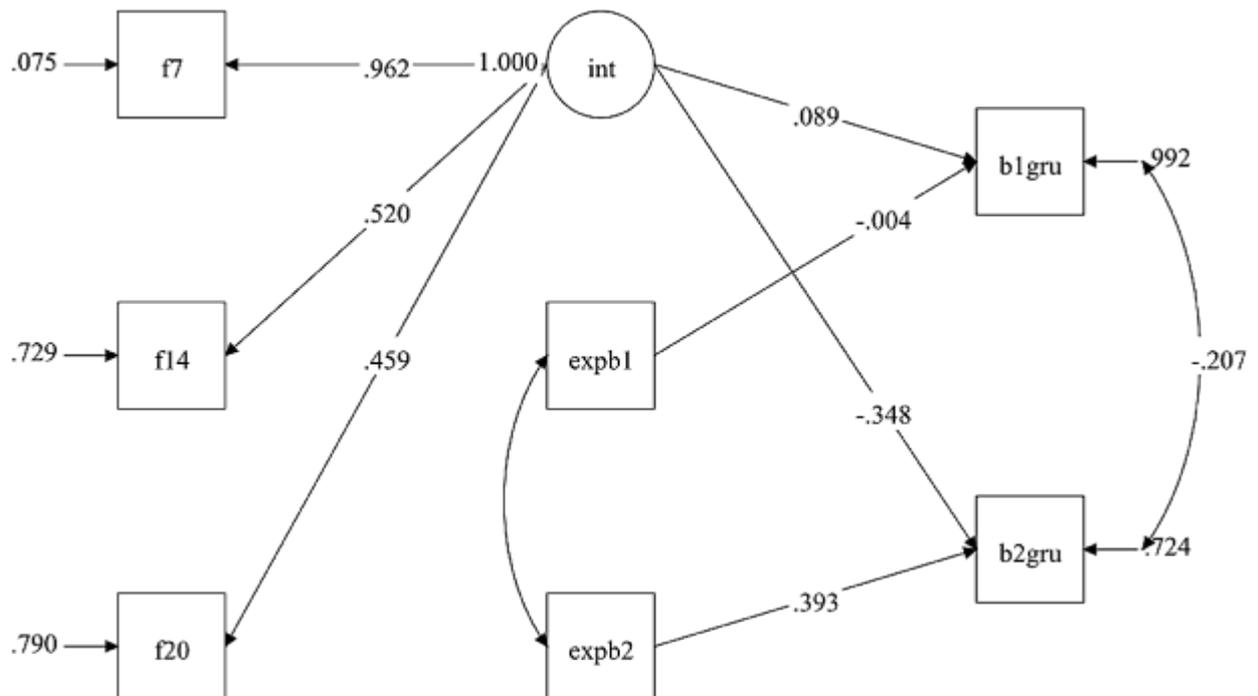


Abbildung 23: Modellprüfung mit Mplus, Abhängigkeiten der Fixationen der Stimuli (b1gru; b2gru) im AoI von den manifesten Faktoren „Einschätzung des Expertenstatus“ (insbesondere expb2) und latentem Faktor „Selbsteinschätzung“ (int).

Model Fit Information:

CFI 0.969

RMSEA Estimate 0.033

Akaike (AIC) 620.364

Bayesian (BIC) 644.975

## 6. Deutungen der Ergebnisse

Aufzeichnungen von Augenbewegungen kann man qualitativ oder quantitativ auswerten. Die quantitativen Analysen der Aufzeichnungen der Augenbewegungen allein sind nicht hinreichend, um die Effekte von Interventionen aussagekräftig zu beurteilen.

Die *qualitative* Untersuchung der Augenbewegungen (Eye Tracking) ist geeignet, um Effekte der Interventionen im Hinblick auf das Lernen beim Betrachten histologischer Bilder bei Schülerinnen und Schülern der Oberstufe zu beurteilen. Hier geben Sakkaden und Fixationen Auskunft über die Aufmerksamkeit für auffällige Strukturen als Voraussetzung für Prozesse des Verstehens (siehe Abbildungen 5 bis 21). Die Gesamtzahl der Sakkaden und Fixationen

insgesamt ist wenig aussagekräftig. Die erste Messreihe (Voruntersuchung) mit 6 Sekunden Aufzeichnung hatte die Vermutung zur Folge, eine höhere Zahl von Sakkaden ginge mit höherem fachlichem Niveau einher, diese Vermutung musste nach der zweiten Messreihe (Hauptuntersuchung) klar verworfen werden. In Übereinstimmung mit Erkenntnissen von Jaarsma et al. (2013) zeigen unsere Aufzeichnungen von Augenbewegungen beim Betrachten histologischer Bilder erwartungsgemäß eine größere Häufigkeit von Fixationen in „Areas of Interests“ bei Probanden mit besserem Fachwissen als bei den übrigen Schülerinnen und Schülern. Jedoch unterscheidet sich deren Fachwissen vom Niveau klinischer Histologen, bei denen nach Banzhaf et al. sogar die Zahl der Fixationen gegenüber Novizen reduziert ist (Banzhaf et al., 2013).

Einige Schlüsse können jedoch aus den quantitativen Auswertungen der Augenbewegungen gezogen werden. Die Zahl der Sakkaden pro Stimulus scheint von der Schwierigkeit des Bildes bestimmt. Ist das Bild optisch heterogen oder ungewohnt, ist die Zahl der Sakkaden insgesamt höher als bei vertrauten Anordnungen. Bei gleicher Messzeit war die Gesamtzahl der Sakkaden beim Stimulus Augenhintergrund mit Blindem Fleck (Stimulus 2) daher höher als bei dem (von gängigen Schemata recht vertrauten) Schichtenmuster der Netzhaut in stärkerer Vergrößerung. Der Augenhintergrund (Stimulus 2) wurde nach unserer Kenntnis bisher in kein adäquates Schulbuchschema „übersetzt“, Schemata vom Augenhintergrund und der Austrittsstelle des Sehnervs sind in vielen schematischen Darstellungen unrichtig oder unklar dargestellt, die Retina setzt sich oft als Linie bis in den Sehnerv fort.

Insgesamt erwiesen sich die Bilder mit schwächerer Vergrößerung schwieriger als die Bilder mit stärkerer Vergrößerung, bei denen die Zellen selbst leichter zu identifizieren waren. Dies betraf jeweils die Bildpaare Rückenmark und Motoneuronen, Kleinhirn und Purkinjezellen sowie insbesondere die Retina am Augenhintergrund und die Lichtsinneszellen. Bei den stark vergrößerten zellulären Ausschnitten (400fach) wurde die am Mikroskop für Novizen mühsame Suche nach relevanten Bildausschnitten ja bereits geleistet.

Die qualitative Analyse der Augenbewegungen offenbart Hürden beim Verstehen und ermöglicht die Entwicklung gezielter didaktischer Impulse für Lernprozesse zum Verständnis zellulärer Strukturen. Die hochauflösenden Aufzeichnungen waren technisch aufwändig. Aber nur so konnten Blicke bei nahe beieinanderliegenden Bereichen klar zugeordnet werden, z. B. die Blicksprünge zwischen Bipolarzellen und Lichtsinneszellen. Handelsübliche, aber kostenpflichtige Software (z. B. „FaceReader™“ von Noldus) könnte eine Alternative sein, um zu Histologie in weiteren biologischen Bereichen mit größeren Stichproben zu arbeiten. Die „Scanpath“ – Dokumentation deutet auf die Strategien der Sinnentnahme aus Bildern und die Richtigkeit der Annahmen von Ballstaedt (1997) auf mehreren Ebenen hin. Erst schweift der Blick, aber es werden dann von den Experten die AoI gefunden und fixiert. Zhao, Schnotz, Wagner & Gaschler (2014), die mittels Eye Tracking Text-Bild-Vergleichen (TPC) untersuchten, stellen fest, dass auch bei schematischen Abbildungen bzw. Texten die eingangs gestellte Aufgabe bzw. Frage eine wichtige Rolle für die Orientierungsstrategien spielte.

Beim Gestalten von interaktiven Lernmaterialien zur Histologie sind Erkenntnisse zur kognitiven Ladung zu berücksichtigen (Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998 u.a.). Darauf weisen die Daten einer Folgestudie hin, bei der von uns Aufzeichnungen von

Augenbewegungen beim Betrachten histologischer Bilder mit und ohne Schemata verglichen wurden. Differenzierte Hinweise zu statischen oder animierten Visualisierungen (exemplarisch untersucht an Schemata zum Bau des Herzens) geben auch Lin und Dwyer (2010). Die Erkenntnisse der Untersuchung der Augenbewegungen nutzen wir zur Gestaltung von Modulen für interaktive Whiteboards (IWB) zur Humanbiologie zur Lehrerbildung, derzeit werden sie um Module zur Histologie der Pflanzen ergänzt und erforscht.

Technisch noch nicht möglich sind Aufzeichnungen bei der Arbeit am Mikroskop selbst mit dem dabei erforderlichen Wählen des Ausschnitts, der Schärfe oder der passenden Vergrößerung. Wegen der in der Literatur dokumentierten prinzipiellen Gleichwertigkeit der Interpretationsprozesse digitaler oder originaler Mikroskopie (Furness 2007, Scoville & Buskirk, 2007 u.a.) wurde dies in Kauf genommen, jedoch Stimuli unterschiedlicher Vergrößerungen gleicher Gewebe einbezogen.

Für alltagsrelevante medizinische Diagnosen sind Deutungen mikroskopischer Strukturen essentiell, sie werden von Experten geleistet. Aber warum schauen wir in der Schule beispielsweise die Retina oder andere histologische Strukturen unter dem Mikroskop an? Nicht alle Schulabsolventen werden schließlich Histologen. Das Auswerten der Augenbewegungen weist auch auf Probleme des Transfers der Inhalte schulischer Schemata auf das mikroskopische Sehen von Zellstrukturen hin. Anscheinend gelang den angehenden Abiturienten dieser Transfer auf das Erkennen von Zellstrukturen in histologischen Bildern eben dieser Gewebe in der Regel nur schwer, zum Teil auch nicht. Darin hatten die Schülerinnen und Schülern auch wenig Übung. Ohne geeignete Strategie werden nur die salienten Bereiche fixiert - was eben oft nur Artefakte sind. Das Üben scheint beim Mikroskopieren unersetzlich zu sein für das „Sehen lernen“ (vgl. Kastenhofer 2004) in Sinne des Erkennens relevanter Elemente und des Wechselns der Abstraktionsebenen. Jedoch scheint uns für ein angemessenes Verständnis der Natur der Naturwissenschaften bei Abiturienten durchaus relevant, wie eine Abstraktion diverser Zellstrukturen zu einem verallgemeinernden Schema in der Naturwissenschaft abläuft. Biowissenschaften kennen keine fertigen Wahrheiten, sondern die mikroskopischen Betrachtungen sind durch theoretische Annahmen und Fragestellungen geprägt. Dieses kritische Verständnis zur Aussagekraft wissenschaftlicher Daten gehört mit zu einem Verständnis der Natur der Naturwissenschaften (NOS). Die praktische Mikroskopie ist eine „Fürsprache“ für die Unfertigkeit des Wissens, für kritisches Denken, um die „generelle Unsicherheit, die jeder theoretischen Aussage anhäftet, zu berücksichtigen“ (Kastenhofer 2004, S. 106). Schulmikroskopie kann dazu beitragen, vor wissenschaftlichen Leistungen Respekt zu entwickeln. Schemata allein reichen nicht zum Verständnis zellulärer Strukturen. Lichtsinneszellen werden von Schülern anteilig für größer gehalten als real, die Vielzahl der Nervenzellen wird unterschätzt und führt bei Hirnpräparaten zu Irritationen. Durch Mikroskopie können realistischere Einsichten in die Zusammenhänge zwischen Struktur und Funktion angebahnt werden als allein durch die abstrakten Darstellungen.

Das Niveau von Biologiestudierenden, auf die sich Kastenhofer bezieht, wird in der Schule (zumindest im Regelunterricht) anscheinend nicht erreicht. Die Übung fehlt. Kastenhofer spricht von „habituellem Einüben“, von „angeleiteter Verwendung des Mikroskops“, die „Benutzerin lernt, ungeachtet der Größendimensionen nach Strukturen zu suchen...“ (2004,

S. 112) sich mit dem Auge im Raum zu bewegen, während die Hand an Zahnrädern durchschärft, in immer kleinere Dimensionen zu wandern, während die Hand die Liste wechselt.“ Diese Erfahrungswanderungen werden durch zweidimensionale Schulbuchschemas nicht ersetzt. Nicht immer wird ausreichend deutlich, dass Abbildungen in Schulbüchern „Destillate“ vorheriger Forschung sind und einen zeitlich begrenzten wissenschaftlichen Konsens repräsentieren. Genau dies aber würde einen eigenen forschenden Blick durch das Mikroskop für Lernende viel reizvoller machen (Korres et al. 2014, Armano et al. 2014). Es gibt noch viel zu entdecken. Die didaktische Aufbereitung sowie die Passung zum Vorwissen sind wesentlich dafür, um eine verbreitete Unlust und Abneigung gegen das Mikroskopieren abzubauen. Dies erfordert eine aufwändige fachdidaktische Entwicklungsarbeit an (digitalen) Modulen sowie ein Feedback in aktuellen Lernsituationen. Kastenhofer spricht von einer Unterstützung durch Erläuterungen, Hinweis Pfeile und Hervorhebungen. So könnte dann nicht nur für Histologen und Mediziner, sondern auch für die Schulmikroskopie digitales Navigieren in histologischen Bildern eine wertvolle Erkenntnishilfe werden. Untersuchungen von Sumfleth und Telgenbüscher (2000) zur Chemiedidaktik zeigen, dass die aktive Teilnahme der Lernenden an der Entwicklung des bildgestützten Lernmaterials sich positiv auf die Transferleistungen auswirkt.

Die Unerfahrenheit mit wissenschaftlichen Konventionen bietet zugleich Chancen auf bisher nicht Beobachtetes. So wurden von Studienanfängern frisch aus Schweineaugen präparierte Netzhautstücke direkt als Frischpräparat betrachtet, weil auffällige Adern dazu reizten – ganz ohne Schnitte oder Färbungen, also gegen die gängige Konvention. So wurden ganz überraschend Erythrozyten sichtbar, sogar noch fließend in feinen Adern (Abb. 25). Daraus entwickelte sich die folgende Problemfrage: Sind das die Adern der Aderhaut? Sehr überraschend lautete die Antwort: nein. Diese beobachteten Adern liegen vor den Ganglienzellen der Netzhaut, wie man im Schnittpräparat prüfen konnte. In einem anderen Fall wollen Abiturienten nach Präparation eines Schafshirns nun endlich wissen, wie denn Ranviersche Schnürringe „wirklich“ aussehen. Man kann sie am Sehnerv, oder auch an Spinalganglien unter dem Mikroskop erkennen und also „sehen“ in einem Prozess mit Erläuterungen und Feedback durch eine Lehrkraft (Abb. 24). Erläuterungen, gesprochener Text, Rückversicherungen zum Gesehenen, Feedback, gehören zum „Sehen lernen“ (Lin & Dwyer, 2010). Mikroskopie kann also tatsächlich produktiv für problemorientiertes Arbeiten sein. Multiple Sklerose geht mit Störungen am Sehnerv einher – dies wird nach solcher Mikroskopie der Markscheiden im Sehnerv sehr verständlich.

Im Unterschied zu Hofmann (2011) mit deren Fokus auf Textverständlichkeit unter Nutzung der Dokumentation von Augenbewegungen war bei uns das jeweilige Bild das eigentliche Leitelement. Die Messzeit der Aufzeichnung der Augenbewegungen bei Betrachtung des histologischen Bildes war konstant und nicht beeinflussbar vom Verstehens - Prozess selbst.

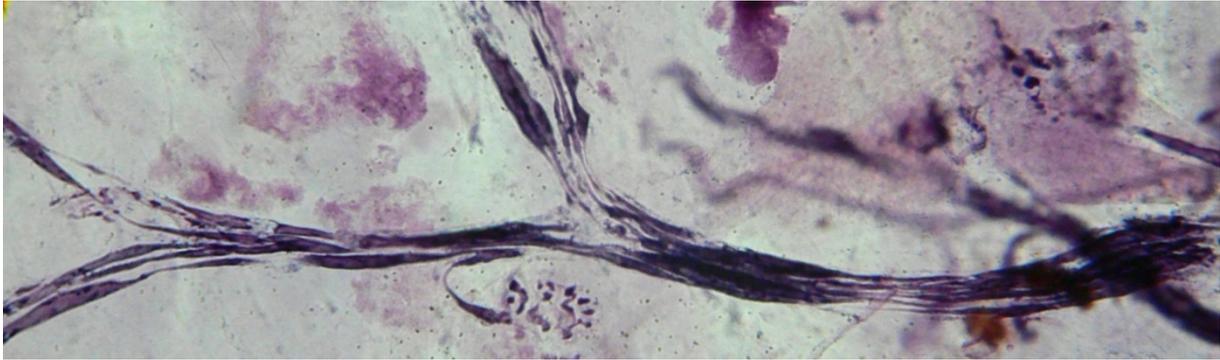


Abbildung 24: Markscheiden und Ranviersche Schnürringe findet man an vielen Körperstellen, wenn man das Erkennen geübt hat: hier vor der neuromuskulären Endplatte am Muskel

Da ja vor allem die qualitative Auswertung der Ergebnisse didaktische Potentiale bietet, könnte in der Nutzung moderner, wenn auch kostenpflichtiger Software zum Aufzeichnen von Augenbewegungen vor Ort eine Entwicklungsperspektive liegen. So könnten einerseits die Zahlen der Fixationen in der AoI Hinweise auf gelungene Sehens-Prozesse liefern. Zum anderen aber bietet die qualitative Auswertung der Daten bestimmte Muster des Suchens und Sehens. Wir vermuten, dass einige davon allgemeingültig sind, andere für ganz spezifische Objekte beschrieben werden müssen. Für die Retina waren dies folgende auffällige Muster: Orientierung an Kontrasten (Hell / Dunkel) bzw. Grenzflächen, Suche nach Lichtsinneszellen auf der dem Licht zugewandten Seite, Verwechslungen von Zellen bzw. Zellschichten durch große Nähe sowie helle und dunklere Färbungen (Bipolarzellen, Lichtsinneszellen mit gefärbten Kernen bzw. helle Schicht dazwischen liegender Nervenfasern).



Abbildung 25: Adern aus einer frisch präparierten ungefärbten Retina von *Sus scrofa* in Aufsicht

## 7. Zusammenfassung

Blickbewegungen von Schülerinnen und Schülern beim Betrachten schulrelevanter histologischer Bilder wurden aufgezeichnet und analysiert. Es wurde u.a. geprüft, inwiefern die Blickbewegungen der Probanden von deren Status als Novize bzw. Experte und von deren Fachkenntnissen (z. B. zur Retina und zur Neurobiologie) abhängen.

Die Daten zeigen, dass das Vorwissen zu zellulären Strukturen des Auges die Anzahl der Sakkaden und Fixationen auf dieser Niveaustufe nicht beeinflusste, aber ihr Verteilungsmuster auf wichtige Bildpunkte. Die qualitative Analyse des „Scanpath“ histologischer Abbilder ermöglicht jedoch Rückschlüsse auf konkrete kognitive Aspekte des

attentiven Bildverstehens und der Verstehenshürden. Die Analyse ergab wesentliche Hinweise zur Optimierung von Lernprozessen und zur Gestaltung von Text-Bild – Interaktionen und Lernimpulsen. So wurde beispielsweise deutlich, dass Schemata und Texte für die Entwicklung eines adäquaten Zellkonzeptes nicht ausreichen und authentische originale Repräsentationsformen nicht ersetzen.

## Literatur

- Alesandrini, K. L. (1984). Pictures and adult learning. *Instructional Science*, (13), 63–77.
- Amano, J., Yamanaka, A. & Kawakami, S. (2013). Advanced activities using microscopes at a science museum to strongly promote children's interest in science. *ESERA Conference* September 2013, Nikosia, Cyprus.
- Araújo-Jorge, T. C., Cardona, T., Mendes, C., Henriques-Pons, A., Meirelles, R., Coutinho, C., Aguiar, L., de Nazareth, M., Meirelles, L., de Castro, S., Barbosa, H.S., & Luz, M. (2004). Microscopy images as interactive tools in cell modeling and cell biology education. *Cell Biol Educ.* 3 (2), 99–110.
- Ballstaedt, St.-P. (1997). *Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial*. Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.
- Banzhaf, C.A., Lund, H., Zarchi, K., Lorentzen, H. F., Argenziano, G. & Jemec, G. (2013). Recognizing Melanoma – Eye Movement Patterns in Dermoscopy – Differences between novices and those experienced in dermoscopy. *17. European Conference on Eye Movements*, 11-16. August 2013, Lund, Sweden.
- Bayrhuber, H.; Bögeholz, S.; Elster, D. u.a. (2007). Biologie im Kontext. In: *MNU* 60/5, S. 282-286, 304-313.
- Berkemeier, A. (2009): Visualisierend Präsentieren als eine Form des Informationsmanagements. In: M. Krelle, C. Spiegel (Hrsg.), *Sprechen und Kommunizieren*. (S. 141-155). Baltmannsweiler: Schneider.
- Bortz, J. Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 4. Aufl. Berlin: Springer.
- Brucker, B., Edelmann, J., Brömme, R. & Gerjets, P. (2014). The proximity of the hands to the objects influences learning on multi-touch devices: Touch pictures, but don't touch words! *Proceedings of EARLI Special Interest Groups Instructional Design & Learning and Instruction with Computers: Seeing eye to eye: New approaches to studying and designing social aspects of learning and instruction*. Rotterdam, The Netherlands.
- Carrió, M.; Costa, M. & Lope, L. (2012). Examining the potential use of PBL in the pre-service science teaching training. In C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (Eds.), *E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship*. Lyon, France: ESERA.
- Crawford, B. A. (2014). From Inquiry to Scientific Practices in the Science Classroom. In N. G. Lederman & S. K. Abell, Ed., *Handbook of Research on Science Education Volume II* ( S. 515-541). New York and London: Routledge Taylor & Frieds Group.
- Dahl, Ch. D., Wallraven, Ch., Bühlhoff, H. H. & Logothetis, N.K. (2009). Humans and Macaques Employ Similar Face-Processing Strategies. *Current Biology* 24 (19), 509-513.
- Dehn, M. (2007). Unsichtbare Bilder. Überlegungen zum Verhältnis von Text und Bild. *Didaktik Deutsch*. 22, 25-50.

- Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism. *Vision Res.* 36 (12) 1827-1837.
- Dörner, D., Reither, F. & Stäudel, T. (1983): Emotionen und problemlösendes Denken. In: Mandl, H. & Huber, G. (Ed.): *Kognition und Emotion. München*: Urban und Schwarzenberg.
- Dörner, D.; Kreuzig, H.W.; Freither, F. & Stäudel, T. (Hrsg.). (1983). *Lohhausen: Vom Umgang mit Komplexität*. Bern: Huber.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens*. Rowohlt.
- Furness, P. (2007). A randomized controlled trial of the diagnostic accuracy of internet-based telepathology compared with conventional microscopy. *Histopathology* 50(2), 266–273.
- Geiser, C. (2011). *Datenanalyse mit Mplus*. 2. Aufl., Wiesbaden: VS-Verlag.
- Goldman, S. R., Petrosino, A. J., Sherwood, R. D., Garrison, S., Hickey, D., Bransford, J. D., & Pellegrino, J. W. (1996). Anchoring Science Instruction in Multimedia Learning Environments. In: S. Vosniadou, E. De Corte, R. Glaser, & H. Mandl (Eds.), *International perspectives on the psychological foundations of technology-based learning environments* (pp. 257-284), Springer
- Guck, J. (2012). Lebendige Optik. *Physik Journal* 11, 39-42.
- Haugwitz, M. & Sandmann, A. (2009). The influence of context – orientated learning on interest and achievement. In M. Hammann, A.J. Waarlo & K. Th. Boersma (ed.) (2009), *The Nature of Research in Biological Education*. VIIth Conference of ERIDOB, 16-20 September 2008, Utrecht: CD-Beta-Press, pp. 231 – 244.
- Hofmann, B. (2011) Analyse von Blickbewegungen von Schülern beim Lesen von physikbezogenen Texten mit Bildern - Eye Tracking als Methodenwerkzeug in der physikdidaktischen Forschung.214; Dissertation an der FU Berlin Berlin: Logos. Studien zum Physik- und Chemielernen Bd. 119.
- Holstermann, N. & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. In *ZfDN* Jg. 13, S. 71-86.
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nat Rev Neurosci*, 2(3), 194-203.
- Jaarsma, T., Jarodzka, H., Nap, M., Van Merriënboer, J. J. G. & Boshuizen, H. P. A. (2013). Expertise Development under the Microscope. 17. *European Conference on Eye Movements*, 11-16. August 2013, Lund, Sweden.
- Jäkel, L. (2012). Working with the microscope as a problem solving process. In C. Bruguière, A. Tiberghien & P. Clément (Eds.), *E-Book Proceedings of the ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship*. Part: Pre-service science teacher education, co-ed. D. Psillos & R. M. Sperandio, Lyon, France: European Science Education Research Association.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Kastenhofer, K. (2004). Sehen lernen und sichtbar machen. Lehrkultur und Wissenschaftspraxis Biologie. In S. Bösch & P. Wehling, Hrsg., *Wissenschaft zwischen Folgeverantwortung und Nichtwissen. Aktuelle Perspektiven der wissenschaftlichen Forschung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 91-126.
- Klahr, A. (2000). *Exploring Science. The Cognition and Development of Discovery processes*. Cambridge: MIT Press.

- Klauer, G., Dierkes, P. & Rothe, S. (2011). Virtuelle Mikroskopie in der Lehre – Konzeption und Evaluation didaktischer Szenarien. 6. *eLearning-Netzwerktag – 6.12.2011* – Campus Westend Universität Frankfurt a. Main.
- Konrad, K. (2011). *Mündliche und schriftliche Befragung. Ein Lehrbuch*. Landau: Verlag empirische Pädagogik.
- Korres, A., Ribeiro, S., dos Santos, P., Pessanha, R., Maciel, A. & Viegas Aquije, G. (2014). Didactic and workshop experience in microscopy for high school and college students. In A. Méndez-Vilas (Hrg.), *Microscopy: advances in scientific research and education*, (S. 1137-1144). Badajoz: FORMATEX, Microscopy Series N° 6, Vol. 2.
- Krapp, A. & M. Prenzel, M. (1992). *Interesse, Lernen, Leistung*. Münster: Aschendorf.
- Ladenthin, V. (1982). Problemorientierter Geschichtsunterricht, In: *Geschichte, Politik und ihre Didaktik*, 10, S.30–34.
- Kiel, E.; Kahlert, J.; Haag, L. & Eberle, T. (2011). Herausfordernde Situationen in der Schule. Ein fallbasiertes Arbeitsbuch. Bad Heilbrunn: Klinghardt.
- Mack, D. J., & Ilg, U. J. (2014). The effects of video game play on the characteristics of saccadic eye movements. *Vision Res*, 102, 26-32. doi: 10.1016/j.visres.2014.07.010
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In: D. Krüger & H. Vogt, Hrsg., *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. S. 177-186.
- Lin, H. & Dwyer, F. M. (2010). The effect of static and animated visualization: a perspective of instructional effectiveness and efficiency. *Educational Tech Research Dev* 58, 155-174.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning Cambridge* (S. 31-48). MA: Cambridge University Press.
- Menin, S.P.; Friedman, M.; Skipper, B.; et al. (1993). Performances on the NBME I, II, and III by medical students in the problem-based learning and conventional tracks at the University of New Mexico. *Acad. Med.* 68, pp. 616–624.
- Merk, M., Knuechel, R. & Perez-Bouza, A. (2010). Web-based virtual microscopy at the RWTH Aachen University: Didactic concept, methods and analysis of acceptance by the students. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger*. 192, (6), 383–387.
- Moreno, R., & Mayer, R. (1999). Cognitive Principles of Multimedia Learning. The Role of Modality and Contiguity. *Journal of Educational Psychology* 91(2), 358-368.
- Moreno, R., & Mayer, R. (2007). *Interactive multimodal learning environments*. Educational Psychology Review. Springer.
- Moser, H. (2003). *Instrumentenkoffer für die Praxisforschung*. Zürich: Verlag Pestalozzianum.
- Munoz, D. P., & Everling, S. (2004). Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement. *Nat Rev Neurosci*, 5(3), 218-228.
- Oestermeier, Uwe (2008). Lernen mit Text und Bild. [http://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/visualisierung/textbild/Lernen\\_mit\\_Text\\_und\\_Bild.pdf](http://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/visualisierung/textbild/Lernen_mit_Text_und_Bild.pdf) (gesehen: 28.10.2012).
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Q J Exp Psychol*, 32(1), 3-25.
- Quiroga, R.Q. & Pedreira, C. (2011). How do we see art: an eye-tracker study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5 (98), 1-9.

- Staeck, L. (1998). *Zeitgemäßer Biologieunterricht*. Cornelsen.
- Romer, D. J. & Suster, S. (2003). Use of virtual microscopy for didactic live-audience presentation in anatomic pathology. *Ann. Diagn. Pathol.* 7(1), 67-72.
- Scoville, S.A. & Buskirk, T. (2007). Experimental Comparison of Two Instructional Methods for Teaching Histology: Traditional Microscopy and Virtual Microscopy. *Clinical Anatomy* 20, 565-570.
- Sumfleth, E. & Telgenbüscher, L. (2000). Chemielernen mit Bildern durch aktive Gestaltung der Lernumgebung – Beispiel Additionsreaktionen. *ZfDN*, 6, 97-113.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Urhahne, D.; Prenzel, M.; von Davier, M.; Senkbeil, M.; Bleschke, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht. Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. In: *ZfDN*, Jg. 6, 157 – 186.
- Vogt, H., Upmeyer zu Belzen, A., Schröer, T. & Hoek, I. (1999). Unterrichtliche Aspekte im Fach Biologie, durch die Unterricht aus Schülersicht als interessant erachtet wird. In: *ZfDN* 5/3, 75-85.
- Vygotskij, L.S. (1978). *Mind in society; the development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Vygotskij, L.S. (1987). *Ausgewählte Schriften. Band 2: Arbeiten zur psychischen Entwicklung der Persönlichkeit*. Berlin: Volk und Wissen.
- Winn, W.D. (1993). A constructivist critique of the assumptions of instructional design. In: T. Duffy, J. Lowyck, & D. Jonassen (Eds.), *Designing environments for constructive learning*, New York: Springer.
- Yarbus, A. L. (1967). *Eye Movements and Vision*. New York: Plenum Press.
- Weidenmann, B. (1994): Informierende Bilder. In: B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. (S. 9–59). Bern: Verlag Hans Huber.
- Weidenmann, B. (2002). Abbilder in Multimediaanwendungen. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis*. 3. Aufl. (S. 83–96). Weinheim: Beltz PVU.
- [www.virtual-microscopy.net/education](http://www.virtual-microscopy.net/education) (gesehen 15. Januar 2015), Autor: Perez-Bouza, A.
- Zhao, F.; Schnotz, W.; Wagner, I. & Gaschler, R. (2014). Eye Tracking Indicators of Reading Approaches in Text-Picture Comprehension. In: *Frontline Learning Research* 6, 46-66.