

Der Blick fürs Wesentliche: Eye-Tracking-Studie zu Lesestrategien von Rechnernetz-Grafiken

Paul Wolf, Steve Sydow, Jöran Pieper, Stefan Friedenberg

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Wolf, Paul, Steve Sydow, Jöran Pieper, and Stefan Friedenberg. 2020. "Der Blick fürs Wesentliche: Eye-Tracking-Studie zu Lesestrategien von Rechnernetz-Grafiken." *MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung*, 86–108.
<https://doi.org/10.21240/mpaed/00/2020.07.02.x>.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

CC BY 4.0



Der Blick fürs Wesentliche

Eye-Tracking-Studie zu Lesestrategien von Rechnernetz-Grafiken

Paul Wolf, Steve Sydow, Jöran Pieper und Stefan Friedenberg

Zusammenfassung

Reicht es aus, wenn Lehrende Zeit und Energie darauf verwenden, qualitativ hochwertige Lehr- und Lernmaterialien zu erstellen, oder sollten sie auch (mehr) Zeit darauf verwenden, den Studierenden das effektive und effiziente Lesen bzw. Betrachten dieses Materials zu vermitteln? Darf davon ausgegangen werden, dass die Studierenden diese Fähigkeiten ohnehin bereits mitbringen? Im Rahmen einer qualitativen Eye-Tracking-Studie mit Novizen und Experten wurde diese Fragestellung am Beispiel einer Rechnernetze-Grafik untersucht. Mit Hilfe eines eigenentwickelten Werkzeugs zur Generierung von Areas-of-Interest-Sequenzdiagrammen wurden die gewonnenen Messergebnisse ausgewertet. Im Resultat zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Betrachtungsweisen. Nicht nur das Vorgehen, sondern auch die Informationsaufnahme unterschieden sich prägnant. Im Folgenden werden die Studie, der theoretische Hintergrund, die gewonnenen Ergebnisse sowie das eigenentwickelte Analysewerkzeug für Messungen aus Eye-Tracking-Studien vorgestellt.

Stay focused. An eye-tracking study on reading computer network graphics

Abstract

Is it enough for educators to spend time and energy, creating high-quality teaching and learning materials, or should educators also spend (more) time teaching students how to effectively and efficiently read and view these materials? Can students be expected to bring these skills with them anyway? This question was investigated in a qualitative eye-tracking study with novices and experts using a computer network graphic as an example. With the help of a self-developed tool for the generation of Areas-of-Interest sequence charts, the obtained measurement results got evaluated. The results showed apparent differences concerning the approaches. Not only the procedure but also the information acquisition differed significantly. In the following, we present the study, its theoretical background, obtained results, as well as a self-developed analysis tool for eye-tracking studies.



1. Einleitung

Lehrende weltweit verwenden viel Energie darauf, ihren Studierenden qualitativ hochwertige Lehrmaterialien zur Verfügung zu stellen. Doch selbst derart aufbereite und didaktisch wohl durchdachte Folien, Skripte und Bücher sind darauf angewiesen, dass Studierende sie so lesen, dass die hohe Qualität der Materialien auch Wirkung zeigen kann. Untersuchungen haben bereits gezeigt, dass beim Lesen von wissenschaftlichen Texten im Vergleich zwischen Schule und Hochschule beachtliche Unterschiede existieren (vgl. Hubbard 1990; Österholm 2008; Panse und Paravicini 2016, Zusammenfassung in Wolf und Friedenberg 2018). Eye-Tracking-Studien, wie von Alcock (2016) zeigen, dass beispielsweise in der Mathematik Expertinnen und Experten ein grundsätzlich anderes Leseverhalten aufweisen als Novizinnen und Novizen: Während Studierende eher linear von oben nach unten lesen, springen Expertinnen und Experten in alle Richtungen, tauchen tiefer in die Materie ein und räumen Verständnislücken aus dem Weg (s. auch Shepherd, Selden, und Selden 2009). Insbesondere das für die Novizengruppe typische Überspringen von Unstimmigkeiten oder Unbekanntem ist aus dem Fremdsprachenunterricht bekannt, aber für wissenschaftliche Texte meist ungünstig und erzeugt Verständnislücken. Obgleich die Studien viele Probleme benennen, zeigte sich auch, dass Studierende den Ratschlägen ihrer Dozentinnen und Dozenten folgen, daher ist es «[...] important for instructors [...] to discuss the role of the textbook in the class [and] to help students learn the best way to use text-books» (Weinberg u.a. 2012, 25).

Das Projekt Hochschuldidaktik Mathematik (HoDiMa, weitere Infos auf der Projekt-Homepage: hodima.hochschule-stralsund.de) an der Hochschule Stralsund regte Diskussionen zum Thema Lesen unter den Lehrenden an. Diese führten zu der Frage, ob die oben erwähnten Leseschwierigkeiten von Studierenden in der Mathematik auch in der Informatik, insbesondere im Bereich Rechnernetze, auftauchen. Im Gegensatz zur klassischen Mathematikvorlesung werden hier weniger Formeln und mehr Folien mit Grafiken behandelt (z.B. zum Thema Firewall). Bereits ein kurzer Blick auf solche Grafiken offenbart, dass es hier viele Arten des «Lesens» geben kann. Unklar ist jedoch, ob es Unterschiede im Betrachtungsverhalten von Personen mit bzw. ohne Expertise gibt.

Der Informationsgewinn aus Grafiken ist bekanntlich komplex und erfordert grundlegende Kompetenzen zur Extraktion von Informationen und der Verknüpfung von Bildern und Texten (z.B. Behnke 2018). Studien zu Bild-Text-Recherchen zeigen, dass Lernende mangelnde Fähigkeiten im Bereich der Informationsgewinnung aus Bildern und Grafiken aufweisen (z.B. Mason, Tornatora, und Pluchino 2015; Schnotz u.a. 2014). Gleichzeitig wird der sichere Umgang mit Grafiken zu den «Schlüsselkompetenzen für das Kommunizieren und Verstehen von politischen, sozialen und kulturellen Phänomenen» gezählt (z.B. Weber 2018). Inwiefern Studierende oben genannte Kompetenzen bereits vor dem Studium erlernen konnten, ist ohne Untersuchung

unklar. Bekannt ist dagegen, dass die frühe Entwicklung solcher Lesekompetenzen durch Anwendung und Lehre an Schulen gewünscht ist und gefordert wird (European Commission u.a. 2013). Dies steht jedoch noch immer vor Problemen, wie fehlender Hardware und mangelnde Fachkompetenz der Lehrkräfte im Umgang mit digitalen Inhalten (Bock, Niehaus, und Tribukait 2015). Diverse Projekte beschäftigen sich mit dem Einsatz digitaler Inhalte an Lehreinrichtungen, liefern bislang jedoch nur wenig Erkenntnisse über den Lernerfolg der begleiteten Kurse:

«Eine Verbesserung des fachlichen Lernens durch den Einsatz digitaler Medien konnte im ersten Jahr des Projekts noch nicht systematisch untersucht werden. Auch andere Studien bieten hierzu erst wenige Erkenntnisse.» (Bock, Niehaus, und Tribukait 2015, S. 6).

Um adäquat auf die Lernschwierigkeiten und Hürden der Studierenden eingehen zu können, müssen Lehrende sich dieser bewusst sein. Im Hinblick auf die effektive Betrachtung von Grafiken im Lernprozess sind Experten-Novizen-Vergleiche naheliegend. Expertinnen und Experten haben auf Grund ihrer langjährigen und intensiven Auseinandersetzung mit den Inhalten und verschiedenen Darstellungsformen in ihren wissenschaftlichen Bereichen Techniken bzw. Strategien erlernt und perfektioniert, die es ihnen ermöglichen, schnell und effektiv neue Sachverhalte zu erfassen und tiefgehend zu verstehen. Am Beispiel der Informatik (konkret: der Veranstaltung Rechnernetze) kam die Frage auf, inwiefern sich Personen mit bzw. ohne Erfahrung hinsichtlich ihrer Lesestrategien von Netzwerkgrafiken unterscheiden. Aufbauend darauf ist geplant, entsprechende didaktische Interventionen zu entwickeln und in den kommenden Semestern zu evaluieren.

Im Folgenden berichten wir über den theoretischen Hintergrund, die von uns durchgeführte Studie und deren Resultate.

Nach Strohmaier, Tatsidou und Reiss (2018) stellen AOI Sequence Charts eine wichtige Hilfe bei der Auswertung von Eye-Tracking-Daten dar. Da wir auch auf Nachfrage keine adäquate Softwarelösung finden konnten, bieten wir den von uns entwickelten AOI Sequence Chart Generator allen Interessenten kostenfrei an (Sydow und Wolf 2020)¹.

¹ Eine deutsche Hilfe ist auf der Hochschulseite des Erstautors zu finden.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1 Cognitive Load Theory

Basierend auf einem Modell der menschlichen kognitiven Architektur beschäftigt sich die Cognitive Load Theory (CLT) mit Aspekten der menschlichen Kognition, die für Lern- und Lehrfragen relevant sind. Sie liefert Modelle, die Faktoren benennen und erklären, welche den Wissenserwerb erleichtern oder erschweren. Die Theorie wurde über Jahrzehnte entwickelt und verfeinert (z.B. Sweller 1988; Paas und Sweller 2014; Sweller, van Merriënboer, und Paas 1998; Paas, Renkl, und Sweller 2004). Ihre Hypothesen wurden umfangreich empirisch getestet (Sweller und Chandler 1991; Gerjets, Scheiter, und Cierniak 2009).

In Anlehnung an Geary (2007) unterteilt die CLT Wissen in zwei evolutionsbasierte Kategorien, biologisches Primärwissen und biologisches Sekundärwissen. Der Fokus der CLT liegt dabei auf dem biologischen Sekundärwissen, d.h. kulturellem Wissen, welches i.d.R. bewusst und mit bewusstem Aufwand erworben werden muss. Der Wissenserwerb in dieser Kategorie wird massgeblich durch die menschliche kognitive Architektur bestimmt, welche als Beispiel für ein natürliches Informationsverarbeitungssystem angesehen wird. Dabei besteht die Annahme, dass wir über ein Arbeitsgedächtnis und über ein Langzeitgedächtnis verfügen. Beide stehen in enger Wechselbeziehung (Paas und Sweller 2014).

Nach der CLT wird Wissen in Schemata im Langzeitgedächtnis gespeichert. Lernen und Verstehen bewirken Veränderungen im Langzeitgedächtnis. Es werden neue Strukturen konstruiert und bestehende Schemata mit neuem Wissen verknüpft. Damit Wissen im Langzeitgedächtnis abgelegt und organisiert werden kann, muss es zuvor unter Zuhilfenahme des Arbeitsgedächtnisses verarbeitet werden. Das Arbeitsgedächtnis bestimmt, welche Informationen verwendet werden sollen, um Schemata im Langzeitgedächtnis zu verändern. Da das Arbeitsgedächtnis in seiner Kapazität und Speicherdauer eingeschränkt ist, kommen dem Langzeitgedächtnis und der vorgefundenen Lernumgebung besondere Bedeutung beim Lernen zu. Nach der CLT existieren die Einschränkungen nicht für Informationen, die aus dem Langzeitgedächtnis in das Arbeitsgedächtnis eingespeist werden, weder in Bezug auf Kapazität noch Dauer. Auf diese Weise erweitern Informationen aus dem Langzeitgedächtnis die Möglichkeiten des Arbeitsgedächtnisses grundlegend. Stösst eine Person auf unbekannte Informationen in einem neuen Kontext, sind die Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses entscheidend. Sie werden mit zunehmender Vertrautheit sukzessive weniger kritisch, da immer mehr Informationen aus dem Langzeitgedächtnis verwendet werden. Stösst eine Person auf Informationen, die bereits gut in Schemata strukturiert und eingebunden sind, werden Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses irrelevant. Inwieweit Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses von

Bedeutung sind, hängt davon ab, inwieweit die zu behandelnden Informationen im Langzeitgedächtnis bereits organisiert sind. Verständnis ist an Veränderungen im Langzeitgedächtnis gebunden. Es ist dann entstanden, wenn alle für das Verständnis eines Themas wesentlichen Elemente im Arbeitsgedächtnis gleichzeitig verarbeitet werden können (Sweller, van Merriënboer, und Paas 1998; van Merriënboer und Sweller 2005).

Die Problemlösefähigkeit wird entscheidend durch Informationen im Langzeitgedächtnis bestimmt. Expertinnen und Experten haben ein wesentlich besseres Gedächtnis für Problemzustände in ihrem Fachgebiet. Dieses Wissen ermöglicht es ihnen, leichter Kontexte und Situationen sowie geforderte Massnahmen zu erkennen. Lernende, die ohne externe Anleitung mit einem neuen Problem konfrontiert sind, müssen sich einen Weg zur Problemlösung erst erarbeiten. Stehen ihnen keine weiteren Informationen zur Verfügung, so erfordert dies einen aufwändigen Prozess mit einem zufälligem Generierungs- und Testverfahren (Sweller, van Merriënboer, und Paas 1998; Paas und Sweller 2014).

Die CLT unterscheidet Arten der kognitiven Belastung, welche mit den Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses bewältigt werden müssen. Die intrinsische kognitive Belastung (*intrinsic cognitive load*) bezieht sich auf die inhärente Komplexität des Lernmaterials. Je vielfältiger Wissenselemente im zu bewältigen Lernmaterial zueinander in Beziehung stehen (hohe Elementinteraktivität), desto höher ist die intrinsische kognitive Belastung, da mehr Elemente notwendigerweise gleichzeitig verarbeitet werden müssen. Die sachfremde kognitive Belastung (*extraneous cognitive load*) bezieht sich auf die Art und Weise, wie Lernmaterial präsentiert wird. Eine auf das Lernziel hin optimierte Auswahl und Gestaltung kann die kognitive Belastung senken. Unter der relevanten kognitiven Belastung (*germane cognitive load*) versteht man den Anteil, welcher für das effektive Lernen notwendig ist und der somit gefördert werden sollte (Sweller, van Merriënboer, und Paas 1998; van Merriënboer und Sweller 2005).

Mit Wurzeln in kognitivistischer Lerntheorie kritisieren die Befürworter der CLT minimal oder gar nicht geführte Lehrmethoden. Sie argumentieren, dass diese Methoden unnötige kognitive Lasten mit sich bringen, die den Wissenserwerb behindern. Stattdessen empfehlen sie die Verwendung von ausgearbeiteten Beispielen, die durch Lernende nachvollzogen werden können und so zum Verständnis beitragen (Sweller 1988; Kirschner, Sweller, und Clark 2006; Sweller, Kirschner, und Clark 2007).

2.2 Revised (Bloom's) Taxonomy

Die 1956 aufgestellte Taxonomie der Lernziele (Bloom u.a. 1956), bekannt als Bloom's Taxonomy, ist ein Modell zur Klassifizierung erwarteter oder beabsichtigter Lernziele. Als solche wurde sie geschaffen, um eine gemeinsame Sprache und ein gemeinsames

Verständnis für Lernziele zu schaffen und den Vergleich von Bildungsaktivitäten, Kursen oder Lehrplänen zu erleichtern (Krathwohl 2002). Um das über Jahrzehnte nach der Veröffentlichung entstandene Verständnis der kognitiven Vorgänge beim Lernen widerzuspiegeln und Rückmeldungen sowie empirische Forschungen zur Taxonomie zu berücksichtigen, wurde 2001 eine überarbeitete Version veröffentlicht. Neben kleineren Anpassungen der Begrifflichkeiten, überführte die Revised Taxonomy die ursprünglich eindimensionale Taxonomie mit sechs Kategorien und Unterkategorien in einen zweidimensionalen Rahmen. Gleichzeitig wurde die zuvor strenge kumulative Hierarchie der Kompetenzstufen aufgeweicht, welche besagte, dass die vollständige Beherrschung von Kompetenzen einer einfacheren Kategorie zwingend die Voraussetzung für das Erlangen der nächst komplexeren darstellt (Anderson und Krathwohl 2001).

Die zwei Dimensionen der überarbeiteten Taxonomie sind die Wissensdimension («Knowledge Dimension») und die Dimension des kognitiven Prozesses («Cognitive Process Dimension»).

Die Wissensdimension charakterisiert die Form des Wissens und unterteilt dieses in vier Kategorien: faktisches Wissen (factual knowledge), konzeptionelles Wissen (conceptual knowledge), prozedurales Wissen (procedural knowledge) sowie metakognitives Wissen (metacognitive knowledge). Tabelle 1 fasst diese Kategorien zusammen.

Die Dimension des kognitiven Prozesses charakterisiert, in welcher Form und Tiefe das Wissen durch Lernende verarbeitet wird. Diese Dimension ist in sechs Kategorien unterteilt: Erinnern (remember), Verstehen (understand), Anwenden (apply), Analysieren (analyze), Evaluieren (evaluate) sowie Erschaffen (create), vgl. Tabelle 2.

Der Vorteil des zweidimensionalen Rahmens ergibt sich aus der Kombination der beiden Dimensionen. So lassen sich Lernziele in einer zweidimensionalen Tabelle gut den jeweiligen Kategorien der Dimensionen zuordnen. Es wird schnell ersichtlich, welche Lernziele auf welchen Kompetenzstufen ein Lehr-/Lernszenario adressiert und welche bewusst oder unbewusst vernachlässigt werden. Für die Messung von Wissen oder Kompetenzen, bspw. in Prüfungssituationen, lassen sich entsprechend zielgerichtet Aufgaben definieren, welche tatsächlich die gewünschten Kompetenzstufen adressieren.

Auf der anderen Seite lässt sich in entgegengesetzter Richtung über die Beschreibung einer zu lösenden Aufgabe auch ableiten, welche der Kompetenzstufen in der jeweiligen Dimension erforderlich sind, um diese adäquat zu bewältigen.

Kategorie	Beschreibung	Beispiele
Faktisches Wissen (<i>factual knowledge</i>)	Grundlegende Elemente, die Lernende kennen müssen, um mit einer Disziplin vertraut zu sein oder Probleme darin zu lösen	Terminologie, spezifische Details und Elemente
konzeptionelles Wissen (<i>conceptual knowledge</i>)	Zusammenhänge zwischen den Grundelementen innerhalb einer grösseren Struktur die es ihnen ermöglichen, zusammenzuarbeiten.	Klassifikationen und Kategorien, Prinzipien und Verallgemeinerungen, Theorien, Modelle, Strukturen
prozedurales Wissen (<i>procedural knowledge</i>)	Wie man etwas tut. Untersuchungsmethoden, Kriterien für die Auswahl und Verwendung von Fähigkeiten, Algorithmen, Techniken und Methoden	Fachspezifische Fähigkeiten, Techniken und Methoden; Kenntnis der Kriterien zur Ermittlung des passenden Zeitpunkts für deren Anwendung
meta-kognitives Wissen (<i>meta-cognitive knowledge</i>)	Wissen über die Kognition, das Bewusstsein und die eigene Wissensverarbeitung	Strategisches Wissen, Wissen über kognitive Aufgaben, Wissen über eigene Denk- und Lernvorgänge, deren Bedingungen und Kontexte

Tab. 1.: Wissensdimension der Revised Taxonomy nach Krathwohl (2002).

Kategorie	Beschreibung	Vorgeschlagene Beispiel-Verben zur Beschreibung
Erinnern (<i>Remember</i>)	Relevantes Wissen aus dem Langzeitgedächtnis abrufen	Erkennen, Abrufen, Erinnern
Verstehen (<i>Understand</i>)	Die Bedeutung von Lerninhalten bestimmen, einschliesslich mündlicher, schriftlicher oder grafischer Kommunikation	Interpretieren, Erläutern, Klassifizieren, Zusammenfassen, Folgern, Vergleichen, Erklären
Anwenden (<i>Apply</i>)	Eine Prozedur in einer gegebenen Situation ausführen oder nutzen	Ausführen, Implementieren
Analysieren (<i>Analyze</i>)	Zerlegen von Systemen in Bestandteile und Erfassen, wie sich die Teile zueinander und als Gesamtstruktur verhalten	Differenzieren, Organisieren, Zuordnen
Evaluieren (<i>Evaluate</i>)	Beurteilung anhand von Kriterien und Normen vornehmen	Prüfen, Kritisieren, Einschätzen
Erschaffen (<i>Create</i>)	Zusammensetzen von Elementen, um etwas kohärentes Neues zu erschaffen, etwas Originäres herzustellen	Generieren, Planen, Produzieren

Tab. 2.: Dimension des kognitiven Prozesses der Revised Taxonomy (Krathwohl 2002).

3. Forschungsfragen

Grundsätzlich steht für uns die Frage im Raum, inwiefern es Unterschiede im Leseverhalten von Expertinnen und Experten gegenüber Anfängerinnen und Anfängern beim Betrachten von Netzwerkgrafiken gibt. Eine Folgestudie könnte anschliessend untersuchen, inwieweit sich die Unterschiede auf das Verständnis der Vorlesungsinhalte auswirken und ob bzw. welche Lehrinterventionen angebracht sind, um die Lese- und Verstehenstechniken der Experten zu vermitteln.

Wir verstehen unsere hier vorgestellte Studie somit als qualitative Basisuntersuchung, die mögliche Wege für zukünftige Untersuchungen und Interventionen aufzeigen soll.

Die folgenden Forschungsfragen wurden innerhalb der hier beschriebenen Studie untersucht. Mit E. bzw. N. werden die Experten- bzw. Novizengruppe bezeichnet.

- (F1) Welche Unterschiede zeigen sich zwischen E. und N. hinsichtlich ihres Vorgehens beim Analysieren von Grafiken der Veranstaltung «Rechnernetze»?
 - (F1.1) Wie unterscheiden sich E. und N. in der ersten Phase (10s) der Beobachtung?
 - (F1.2) Welche Lese-Strategien zeigen sich bei E. und N.?
- (F2) Welche Unterschiede zeigen sich bei der Informationsgewinnung aus der Grafik zwischen E. und N.?

Wir vermuteten, dass Expertinnen und Experten strategischer und verständnisorientierter lesen und somit mehr (korrekte) Informationen in weniger Zeit gewinnen. Die Unterfragen F1.1 und F1.2 sollten die Unterschiede konkretisieren.

4. Design der Studie

Die Vorlesung «Rechnernetze» wird für Informatikstudierende im dritten Semester (Bachelor) gehalten und befasst sich mit Netzwerk-Grundlagen. In diesem Zusammenhang beschreiben diverse Grafiken die Funktionsweisen verwendeter Hardware (z.B. Hub, Repeater, Switches). Wir konnten den Dozenten der Veranstaltung, seinen Doktoranden sowie einen Studenten aus dem siebten Semester als Experten und zudem sieben Studienanfänger als Novizen für die Studie gewinnen. Alle Studienteilnehmer waren männlich. Der einzige weibliche Proband sagte kurz vor der Datenerhebung leider ab und wir konnten keinen Ersatz finden. Die Teilnahme war freiwillig und die Studierenden erhielten als Dank einen 10€-Gutschein.

Der Erstautor untersuchte die Folien der Vorlesung «Rechnernetze» und entwickelte davon ausgehend eine Grafik, die dem Layout entspricht. Drei zentrale Ansprüche sollte die Grafik erfüllen:

- Die Grafik und deren Inhalt müssen für die Experten neu sein
- Die Grafik muss auch von den Novizen in wenigen Minuten verstanden werden können.
- Die Grafik soll möglichst viele Ähnlichkeiten zu typischen Grafiken der Veranstaltung aufweisen.

Eine Grafik zu einem existierenden Gerät/Netzwerk konnte für den Versuch nicht verwendet werden, da sonst das Risiko bestanden hätte, dass die Experten die Grafik nicht unbefangen anschauen (siehe 2.1). Die Situation sollte für die Experten und Novizen möglichst ähnlich sein.

Von den Novizen wurde grundlegendes Verständnis für Datenweitergabe (gekennzeichnet durch Text und Pfeile) und Fallunterscheidungen erwartet. Da alle Novizen Informatik studieren, sollten diese Grundvoraussetzungen erfüllt sein. Zur Sicherheit wurde eine unbeteiligte Person mit wenig PC-Erfahrungen zur Grafik befragt. Es stellte für sie keine Schwierigkeit dar, die Grafik grundsätzlich zu verstehen und den Inhalt in Worten zu beschreiben, weshalb wir davon ausgingen, dass die Grafik auch für Studienbeginnende leicht verständlich ist.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Grafik war der Grad der Komplexität. Die Grafik sollte relativ zügig erfasst werden, aber zugleich auch Verständnisprobleme und Fehler beim Lesen der Grafik aufdecken können.

Die Grafik in Abb. 1 zeigt den Einsatz der fiktiven Hardware namens SBS. PC1 sendet Daten an PC2, dieser fügt weitere Daten hinzu, weshalb das Datenpaket auch grafisch grösser wird. So wird das Paket bis PC4 weitergereicht und ergänzt. Am Rand wird darauf hingewiesen. PC4 sendet die finalen Daten an das SBS, welches anschliessend prüft, ob die Paketgrösse den «Vorgaben entspricht». Trifft dies zu, so wird das Datenpaket an den Ziel-PC gesendet. Ansonsten wird das Datenpaket vernichtet und das SBS sendet sowohl eine Verwarnung an PC1 als auch an das «Complaint Department». Dieser Server sammelt die Verwarnungen und sanktioniert PC1. Weitere Details wurde nicht angegeben, sodass geprüft werden kann, ob fehlende Informationen selbstständig «ergänzt» werden (vgl. Edwards und Ward 2004). Logo, Hinweis zur Veröffentlichung sowie die (fiktive) Seitenzahl gehören lediglich zum Layout der Vorlesungsfolien.

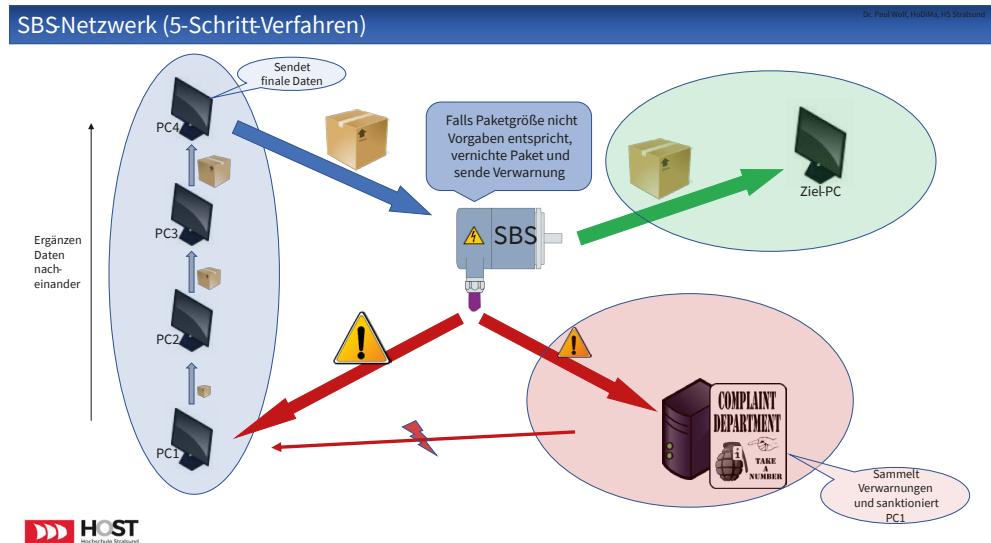


Abb. 1.: Fiktive Rechnernetze-Folie.

Die Daten wurden im August (Experten) bzw. November 2017 (Novizen) erhoben. Den Probanden wurde mitgeteilt, dass kein Zeitlimit beim Betrachten der Grafik besteht, jedoch anschliessend ein Fragebogen zur Grafik ausgefüllt werden sollte. Dieser Hinweis sollte die Probanden motivieren, sich die Grafik konzentriert anzusehen und somit eine Vorlesungssituation simulieren. Während der Eye-Tracking-Messungen wurde in keiner Form interveniert. Nach jeder Messung wurde dem jeweiligen Probanden ein Fragebogen vorgelegt, der die Zusammenhänge der einzelnen Grafikelemente behandelte (s.u.).

Die Messungen wurden in einem der Labore der Hochschule Stralsund durchgeführt. Ausgestattet war dieses mit einem Eye-Tracker der Firma Tobii Modell X2-30 Compact sowie der dazu passenden Software Tobii Studio Version 3.4.8. Die damit erhobenen Daten wurden exportiert und mit unserem AOI Sequence Chart Generator ausgewertet. Die Eye-Tracking-Daten wurden zur Beantwortung der Forschungsfrage F1 herangezogen, während F2 über die Antworten des Fragebogens untersucht wurde.

Im Folgenden geben wir den Fragebogen sowie kurze exemplarische Lösungsvorschläge an.

- A1) Was soll die Grafik Ihrer Ansicht nach erklären bzw. veranschaulichen?

Die Funktionsweise des SBS.

- A2) Erklären Sie kurz und knapp den Inhalt der Grafik.

Zum Beispiel: PCs ergänzen nacheinander ein Datenpaket. Dieses geht an SBS. Wenn die Paketgrösse den Vorgaben entspricht, so geht es an den Ziel-PC. Falls nicht, so zerstört SBS das Paket, schickt PC1 eine Verwarnung und meldet dies an einen Server, der die Verwarnungen sammelt und den PC1 sanktioniert.

- A3) Welche Eigenschaft muss ein Paket erfüllen, damit es zum Ziel-PC durchgelassen wird?
Die Grösse muss korrekt sein.
- A4) Was macht das SBS mit Paketen, die zu klein sind?
Vernichten.
- A5) Wie viele Schritte durchläuft in diesem System ein Paket maximal? Jeder Pfeil stellt einen Schritt dar (z.B. von PC4 zu SBS).
Maximal 5: PC1-PC2-PC3-PC4-SBS-Ziel.
- A6) Bei den PCs 1-4 (links im Bild) waren Paket-Grafiken zu sehen. Haben Sie hier etwas bemerkt? Falls ja, was sollte damit verdeutlicht werden?
Die Pakete werden immer grösser. Dies verdeutlicht, dass die Daten ergänzt werden und damit mehr wachsen.
- A7) Was passiert weiterhin, wenn das SBS ein Paket vernichtet?
SBS sendet eine Verwarnung an PC1 und an den Verwarnungs-Server, der wiederum PC1 sanktioniert.

Der Fragebogen sollte die Probanden motivieren, sich intensiv mit der Grafik auseinanderzusetzen und eine vorlesungähnliche Situation schaffen. Die Fragen wurden bewusst auf verschiedenen Abstraktionsebenen gestellt, um Unterschiede in der Informationsgewinnung entdecken zu können (vgl. 2.2). Die erste Frage prüfte zunächst das Gesamtverständnis der Probanden über die Grafik. Die zweite Frage geht eine Ebene tiefer und verlangt einen groben Überblick über die Funktionsweise des SBS und die Verbindung der einzelnen Elemente. Erst die nachfolgenden Fragen gehen auf Details ein. Der Aufbau orientiert sich an den Theorien aus 2.1 und 2.2.

5. Auswertungsergebnisse

5.1 Vorüberlegungen zur Auswertung

Zur Auswertung von Eye-Tracking-Daten gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Techniken, die je nach Anwendungsfalls und Analysezielen besser geeignet sind. Die klassischen Heatmaps (Abb. 2) zeigen die am häufigsten und längsten betrachteten Punkte in einem farblichen Ampel-Intervall, eine Auswertung nach Zeitverlauf ist jedoch kaum möglich.

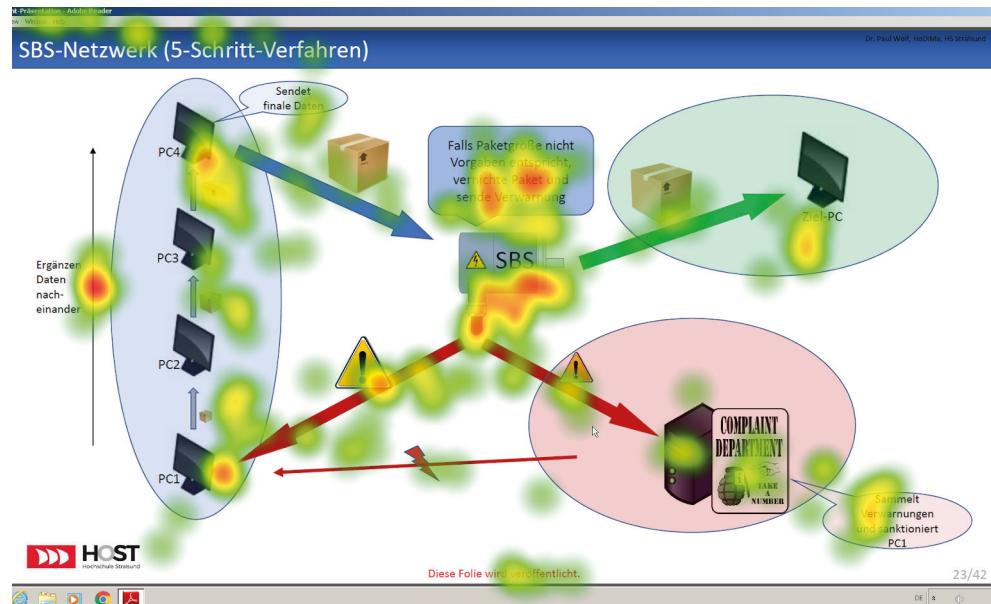


Abb. 2.: Heatmap (Experte E1).

Der Gaze Plot (Abb. 3) zeigt den zeitlichen Verlauf der Fixationen (Fokussierung, Informationsaufnahme), jedoch ist die Grafik gerade bei längeren Aufnahmen unübersichtlich.

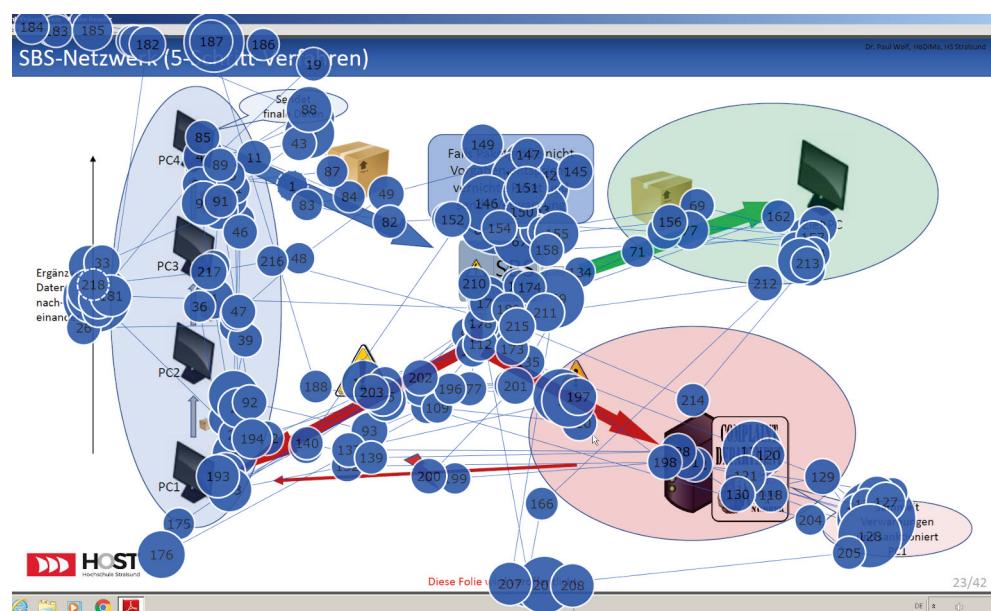


Abb. 3.: Gaze Plot (Experte E1, Kreisgrösse proportional zur Fixationsdauer).

Da nur bestimmte Bereiche der Grafik von Interesse sind, bietet sich die Einteilung in sogenannte Areas of Interest (AOI, vgl. Abb. 4) an. Dies ermöglicht sowohl statistische Auswertungen als auch Visualisierungen über den zeitlichen Verlauf.

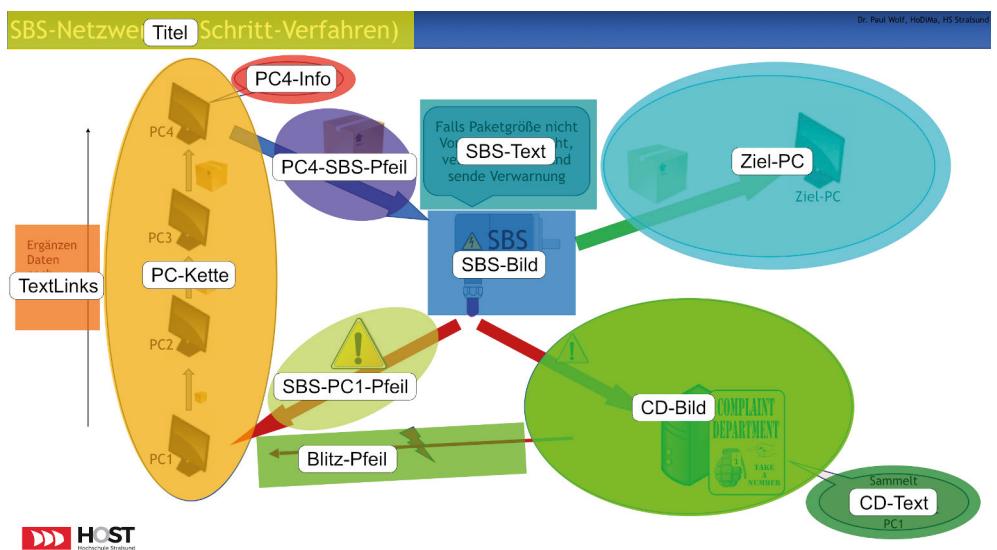


Abb. 4.: Areas of Interest.

Strohmaier, Tatsidou und Reiss (2018) empfehlen die Analyse via AOI Sequence Charts, da diese deutlich übersichtlicher sind und sich zum Vergleich von mehreren Probanden eignen. Sie ermöglichen es, Lesestrategien zu visualisieren, den zeitlichen Verlauf zu verfolgen und einzelne Abschnitte isoliert zu betrachten. In Abb. 5 zeigen die farblichen Segmente (Gelb, Orange, Rot) die drei beispielhaften AOI «Titel», «PC-Kette» und «TextLinks». Der graue Bereich kennzeichnet, dass der Proband keinen der drei Bereiche fixiert hat oder in der Software AOI deaktiviert wurden.

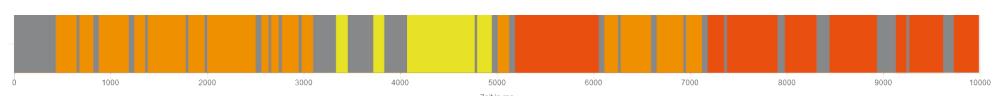


Abb. 5.: AOI Sequence Chart, erste 10 Sekunden (Experte E1), Ticks in 1000 ms.

Somit können die Reihenfolge der Betrachtungen, deren Häufigkeit und Länge abgelesen werden. Hier hat der Experte z.B. seinen Fokus zunächst für etwa 3 Sekunden auf die PC-Kette gelegt.

Um den Blickverlauf zu quantifizieren, können z.B. Pfade (Scanpaths) aufgestellt werden. In einer Buchstabenfolge wird angegeben, in welcher Reihenfolge die AOI betrachtet wurden, jedoch unabhängig von der Fixationsdauer. Das Diagramm aus Abb. 5 liefert den Pfad: ABACAC (A=Orange, B=Gelb, C=Rot). Diese Folgen lassen sich nun miteinander vergleichen. Eine sehr einfache Methode ist die Distanz nach Levenshtein (1966).

5.2 Resultate zu Frage 1 (Eye-Tracking)

Die Experten (E1, E2, E3) und Novizen (N1 bis N7) konnten frei entscheiden, wie lange sie die Grafik betrachten wollten. Wie in Abb. 6 zu erkennen ist, haben die Experten verhältnismässig kurz und mit geringer Streuung (Mittelwert $M=66$ Sekunden, Standardabweichung $SD=3.5$ s) auf die Grafik geschaut, während die Zeiten der Novizen breit streuen ($M=74$ s, $SD=27.9$ s). Es ist naheliegend, dass eine quantitative Studie diesen Unterschied statistisch absichern könnte.

Messzeitenvergleich Experten vs. Novizen
 $N = 3 + 7$ (Experten & Novizen)

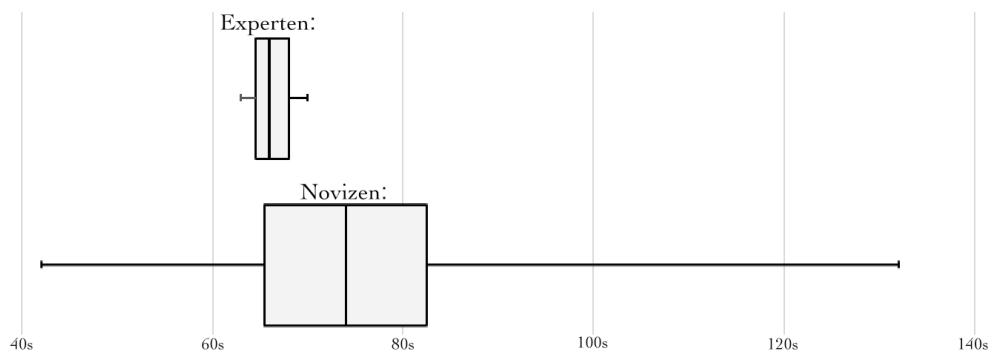


Abb. 6.: Boxplots zu den Messzeiten.

Für die Lehre zeichnet sich ab, dass Experten auf das Zeitbedürfnis achten sollten, wenn sie den Studierenden das aktive Mitverfolgen der Inhalte während der Vorlesung ermöglichen wollen. Die Möglichkeiten, auch bei grösseren Gruppen auf anonymem Wege die Bereitschaft zur Fortsetzung der Vorlesung abzufragen, bieten z.B. Votingsysteme wie www.tweedback.de.

Im Rahmen dieses Beitrags wollen wir uns bei der Betrachtung der folgenden AOI Sequence Charts auf die ersten 10 Sekunden (Frage F1.1) von ausgesuchten Probanden beschränken, da eine vollständige Diskussion der Daten den Rahmen dieses Beitrags sprengen würde. Die hier vorgestellten Novizen wurden ausgewählt, da sie ähnliche Strategien anderer Teilnehmer repräsentieren. Details zu den gesamten Beobachtungszeiträumen aller Teilnehmer finden sich in Sydow (2018). Die Präzisierung der ersten Phase auf den Zeitraum von 10 Sekunden erfolgte nach Betrachtung aller Charts.

Die folgende Grafik (Abb. 7) zeigt die Charts von zwei Experten (oben) und drei Novizen in den ersten 10 Sekunden. Die Farben entsprechen den AOI-Farben aus Abbildung 4.

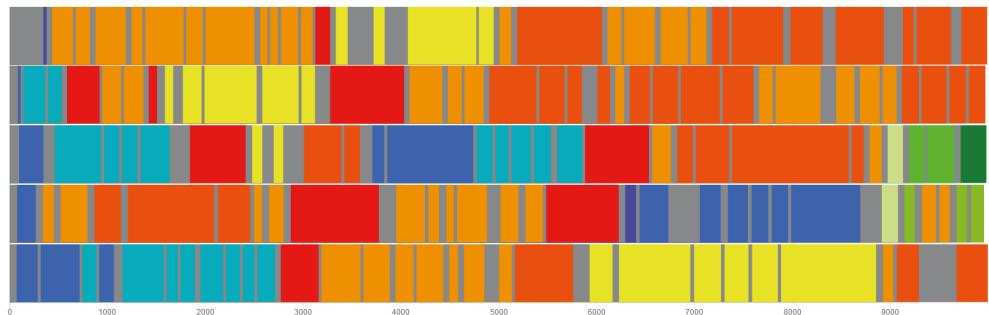


Abb. 7.: AOI Sequence Charts der ersten 10 Sekunden (E1, E2, N6, N3, N2, Zeit in ms).

Wie bereits auf den ersten Blick zu erkennen ist, ähneln sich die Blickverläufe der beiden Experten. Sie verweilen die erste Phase nahezu vollständig im linken Bereich der Netzwerk-Grafik (PC-Kette und zugehörige Texte). Die Novizen unterscheiden sich sowohl von den Experten als auch untereinander sehr. So wandert der Blick von N6 (mittlere Zeile in Abb. 7) vom SBS-Bild zum SBS-Text, anschliessend über PC4-Info zum Titel der Folie und von dort zum Text-Links. Anschliessend wiederholt er diesen Blickverlauf (ohne den Titel erneut zu betrachten) und landet schliesslich beim Complaint Department. Auch die anderen beiden Novizen wandern über grosse Teile der Grafik. Ein zentraler Unterschied besteht somit darin, dass die Experten den Startbereich ausmachen und dort verweilen, bevor sie weitergehen. Dies weist insofern Ähnlichkeiten zu den Erkenntnissen von Alcock (2016) bzw. Shepherd u.a. (2009) auf, da die Experten (im Gegensatz zu den Novizen) auch bei uns das Lesen nicht fortsetzen, bis sie das notwendige Verständnis für den Inhalt entwickelt haben. Novizen scheinen zunächst mehr einen Überblick durch «Springen» über die Grafik zu suchen.

Der Blickverlauf wurde aus den Charts entnommen und von E1 (und auch E2, da sich beide stark ähneln) und N6 in Abb. 8 vereinfacht dargestellt, was den direkten Vergleich zusätzlich vereinfacht. Dies visualisiert die oben genannten Erkenntnisse.

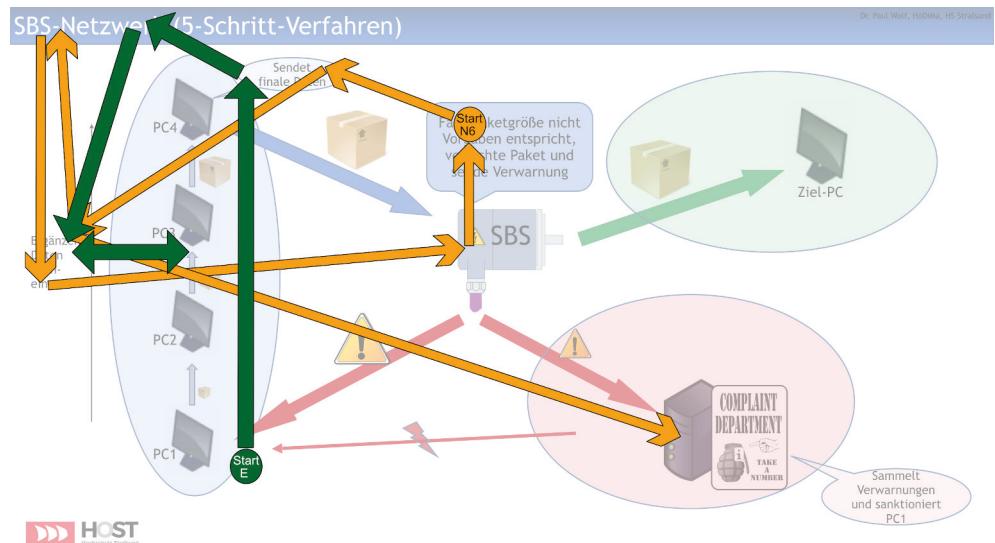


Abb. 8.: Blickverlaufsvergleich Experten E1 (dunkelgrün) vs. Novize N6 (orange).

5.3 Resultate zu Frage 2 (Fragebogen)

Sofort nach der Eye-Tracking-Messung eines Probanden wurde er gebeten die Fragen (s. Design der Studie) zur Grafik zu beantworten. Es waren keine Hilfsmittel und kein erneuter Blick auf die Grafik gestattet. Die Bepunktung der Lösungen wurde wie folgt vorgenommen: Die Fragen A1 und A2 wurden mit 0-3 Punkten bewertet (keine/falsche Antwort, Antwort beschreibt Prozessablauf ohne Abstraktion bzw. es treten vermehrt Fehler auf, Antwort enthält kleine Fehler, richtige Antwort), während die Fragen A3-A7 nur mit 0-2 Punkten bewertet wurden, da hier eine reine Faktenwiedergabe ohne Abstraktion gefordert wurde. Insgesamt konnten 16 Punkte erreicht werden. Eine Punkteübersicht findet sich in Abb. 9. Die Experten heben sich in der Gesamtpunktzahl bis auf eine Ausnahme deutlich von den Novizen ab (im Mittel 13 vs. 8,3 Punkte bei gleicher Streuung von 2,1).

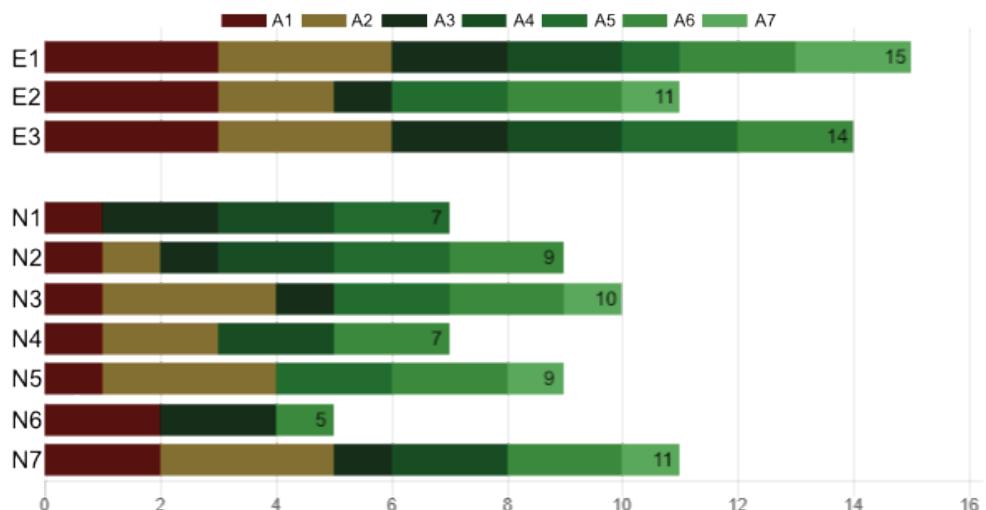


Abb. 9.: Übersicht über erreichte Punktzahl nach Aufgaben.

Im Rahmen dieses Beitrags gehen wir hauptsächlich auf die ersten zwei Aufgaben ein. Insbesondere in A1 zeigt sich eine Differenz zu den Experten. Während diese stets die volle Punktzahl erreichten, bekamen fünf der sieben Novizen nur einen Punkt, die restlichen beiden zwei Punkte. Bei der Betrachtung der konkreten Antworten zeigt sich, dass den Novizen der Überblick über die Kernaussage der Grafik fehlt:

«Pakete, die ein Netzwerkteil durchlaufen und aussortiert werden.» (N1)

«Es wird etwas abgerufen/bestellt und mit der Grafik wird verdeutlicht, wie der Ablauf des Prozesses aussieht.» (N4)

Auffällig war, dass der Begriff «SBS-Netzwerk» bei allen Experten, jedoch nur bei einem Novizen genannt wurde. Beachtet man die AOI Sequence Charts, so zeigt sich, dass drei der fünf Novizen mit einer 1-Punkt-Antwort den Titel nicht beachtet hatten. Es ist also, im Hinblick auf die Lehre, keine Selbstverständlichkeit, dass die Studierenden ohne Hilfestellung sofort selbst erkennen, worum es in der Grafik grundsätzlich geht. Das Anleiten und Einüben einer geeigneten Lesestrategie durch Experten erscheint äusserst sinnvoll.

Während die Novizen N3, N5 und N7 in Aufgabe 2 volle Punktzahl erreichten, zeigten sich bei anderen Novizen sichtbare Defizite. Häufig wurden Komponenten der Grafik vergessen, in ihrer Funktion falsch beschrieben / uminterpretiert (vgl. N6, es gibt keinen «Hacker» in der Grafik) und teilweise umständlich formuliert. Der Vergleich zwischen E1 und N4 dient hier als Beispiel und zeigt, dass Experten eher in der Lage sind, Informationen präzise und ohne Verlust von Informationen, wiederzugeben.

«Paket wird über 5 PCs iteriert. Paket wird an Regelkomponente weitergegeben und von hier eskaliert: Verwarnung, Rückkopplung in das 5 PC System, oder ggf. Sanktionierung von PC1» (E1)

«Zunächst wird etwas in Auftrag gegeben. Danach wird das angeforderte Objekt über mehrere Prozesse (PC1-PC4) zusammengestellt und anschliessend wird geprüft, ob das Objekt ein gewünschtes Format, bevor es schlussendlich entweder abgeschickt oder bei einem Fehler zerstört und analysiert wird.» (N4)

«Wenn ein PC Daten-Pakete verschickt, wird ihm eine falsche Verwarnung gesendet. Das Daten-Paket geht an den Hacker.» (N6)

Ab A3 beginnen die Detailfragen. Punktabzüge sind hier in falschen oder fehlenden Beschreibungen begründet.

Es muss angemerkt werden, dass eine falsche Antwort nicht unbedingt nur auf das inkorrekte Erfassen der Grafik zurückgeführt werden kann. So sind auch falsches Verständnis der Aufgabe, Konzentrationsschwierigkeiten bzw. Nervosität und das Erinnerungsvermögen weitere mögliche Gründe.

6. Fazit und Ausblick

Anhand der Ergebnisse unserer Untersuchung lassen sich deutliche Unterschiede zwischen der Experten- und der Novizengruppe im Leseverhalten und der Verständnisgewinnung zeigen. Die Novizen scheinen in den ersten Sekunden allgemein über die Grafik zu wandern, ohne Details aus den zugehörigen Info-Texten zu entnehmen. Ist die grobe Übersicht vorhanden, werden auch die Info-Texte hinzugezogen. Die Experten gehen gezielter vor, betrachten von Anfang an sowohl Bild als auch Text und legen von Beginn an einen vertrauteren Umgang mit Grafiken dar. Die Auswertung der Fragebögen ergab sichtliche Defizite bei der Abstraktionsfähigkeit und Informationsaufnahme vieler Novizen. Die Expertengruppe in dieser Studie zog mehr Informationen aus der Grafik und zeigte ein besseres Verständnis für die in der Grafik abgebildeten Abläufe.

Die Aufgabe der Probandinnen und Probanden ist hinsichtlich der Revised Bloom Taxonomy (siehe Abschnitt 2.2) in verschiedenen Dimensionen zu verorten. In der Wissensdimension enthält sie faktisches, konzeptionelles und prozedurales Wissen. Im gestellten Aufgabenkontext sind grundlegende Elemente zu erkennen (factual knowledge), die zusammenhängen und in einer grösseren Struktur zusammenarbeiten (conceptual knowledge). Das Vorgehen bei der Interpretation des Diagramms kann als prozedurales Wissen (procedural knowledge) bewertet werden. Damit die Bedeutung des Diagramms durchdrungen wird, muss das dargestellte System in Bestandteile zerlegt werden, um zu erfassen, wie sich die Teile zueinander und als

Gesamtstruktur verhalten. In der Dimension des kognitiven Prozesses deckt diese Aufgabe somit in einfacher Form die Kategorien Erinnern, Verstehen, Anwenden und Analysieren ab (siehe Tab. 2). Damit die Lernenden verstehen und analysieren können, müssen sie sich zuvor erinnern (remember). Das wiederum setzt das Erfassen der Elemente und ihrer Beziehungen voraus.

Die CLT (siehe Abschnitt 2.1) postuliert, dass Lernen/Verstehen erst dann stattfindet, wenn alle notwendigen Elemente gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können. Das Beispieldiagramm ist beabsichtigt von überschaubarer Komplexität und Elementinteraktivität, dennoch weisen die beschriebenen Elemente Beziehungen zueinander auf, müssen also gemeinsam verarbeitet werden.

Auch der Expertengruppe war die Grafik unbekannt. In der Realität gibt es kein «SBS». Jedoch sind die Konzepte Anfrage, Antwort, Aushandeln, Akzeptieren oder Zurückweisen in Netzwerkprotokollen und -stacks gebräuchlich und somit grundsätzlich vertraut. Auch wenn das SBS-System fiktiv ist, stellt es sich bereits Sachkundigen als «ein System» dar, welches unter definierten Bedingungen Aktionen bzw. Datenpakete akzeptiert oder zurückweist. Auch wenn es sich um einen neuen und fiktiven Sachverhalt handelt, widersprechen die dargestellten Elemente (Rechnerknoten, Datenfluss, Kommunikation über Pakete im Netzwerk, Verzweigung auf Basis von Kriterien, etc.) nicht grundsätzlich deren Semantik in ähnlichen «echten» Diagrammen existierender Systeme. Es ist von einem ausgeprägteren Abstraktionsvermögen der Experten in diesem Kontext auszugehen, da sie mit verschiedenen Manifestationen von Systemen vertraut sind, die sich in ihrer jeweiligen Domäne ähnlich akzeptierend, zurückweisend und sanktionierend verhalten. Die Untersuchung legt nahe, dass eine Verknüpfung mit bereits Bekanntem und die Nutzung des Langzeitgedächtnisses zu einem schnellen Erfassen und Verstehen der dargestellten Zusammenhänge beitragen konnte. Durch ihre ausgeprägte Expertise sind die Experten mit der Analyse von Situationen, Zuständen und Sachverhalten vertraut, die deutlich komplexer sind, als im Beispieldiagramm dargestellt. Sie verfügen in dieser Domäne gegenüber den Novizen in allen Kategorien der Wissensdimension und der Dimension des kognitiven Prozesses über einen Vorsprung. Die beschriebenen Ergebnisse unserer Studie stehen damit in Einklang.

Die mangelhafte Beantwortung der Fragen durch die Novizen weist darauf hin, dass in dieser Gruppe das Verstehen und (Er-)Lernen der korrekten Zusammenhänge nicht zufriedenstellend stattgefunden hat. Da ähnliche Diagramme im Kontext von Rechnernetzen als effektive und effiziente Darstellungsform etabliert sind, erscheint die Vermittlung von Kompetenzen zu deren erfolgreicher Verwendung elementar. In unserer Untersuchung konnten wir nicht klären, woran der Lernerfolg in der Novizengruppe im Einzelnen gescheitert ist. Da im Experiment keine Zeitvorgabe existierte, ist davon auszugehen, dass die Teilnehmenden zum Zeitpunkt des Abbruchs ausreichend vom eigenen Lernerfolg überzeugt waren. Im untersuchten Szenario war keine

Rückkopplung über Feedback zum Lernerfolg vorgesehen. Das Experiment verdeutlicht, dass dies in einem Lernszenario unabdingbar ist, um den Lernenden eine Kontrolle des Lernerfolgs zu ermöglichen.

Um das Lernen zu fördern, sollte sich die kognitive Leistung der Lernenden auf die inhärente Komplexität des zu erlernenden Sachverhalts (*intrinsic cognitive load*) fokussieren dürfen. Wie in 2.1 dargestellt, müssen sich Lernende, die mit einem neuen Problem konfrontiert sind, erst einen Weg zur Problemlösung erarbeiten. Ohne weitere Unterstützung erfordert dies einen aufwändigen Prozess mit einem zufälligen Generierungs- und Testverfahren (*try-and-error*). Die sachfremde kognitive Belastung (*extraneous cognitive load*), ausgelöst durch die Art der Präsentation des Lernmaterials, sollte minimiert werden, um den Lernerfolg positiv zu beeinflussen. Neben der Vermittlung von elementarem Faktenwissen und der Vermittlung von Zusammenhängen spielt damit prozedurales Wissen, wie eine Strategie beim Vorgehen der Analyse von Sachverhalten in Diagrammen, eine wesentliche Rolle. Daneben erscheint es ratsam, dass die Lernenden bereits über die notwendigen Kenntnisse der Elemente in den Diagrammen verfügen, um ihre kognitive Belastung bei der Analyse dargestellter Systeme nicht unbeabsichtigt zu erhöhen.

Wie gut die Studierenden den Umgang mit Grafiken im Laufe einer Lehrveranstaltung auch ohne Anleitung selbst lernen, können wir anhand unserer Daten nicht sagen. Wenn Grafiken zentrale Elemente einer Veranstaltung sind, scheint es jedoch ratsam, den Umgang möglichst früh zu erläutern und einzuüben.

Es stellt für Lehrende eine andauernde Herausforderung dar, sich bei der Gestaltung des Lernmaterials wiederholt des eigenen Vorsprungs in verschiedenen Dimensionen bewusst zu werden, um Lernenden die notwendige Unterstützung anzubieten. Die Revised Bloom Taxonomy und die CLT liefern an dieser Stelle strukturiert Impulse für Überlegungen.

Folgestudien könnten untersuchen, inwieweit sich die gezeigten Unterschiede auf das Verständnis der Vorlesungsinhalte auswirken und ob bzw. welche Lehrinterventionen angebracht sind, um die (Lese)Strategien der Experten zu vermitteln. Derzeit testen die Autoren, inwiefern bereits ein kurzer Workshop zum Lesen von Netzwerkgrafiken Effekte zeigt.

Literatur

- Alcock, Lara. 2016. «How do people read mathematics?» 2016. <https://blog.oup.com/2016/01/reading-mathematics-proofs/>.
- Anderson, Lorin W., und David R. Krathwohl, Hrsg. 2001. *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Complete ed. New York: Longman.
- Behnke, Yvonne. 2018. «Is a Picture Worth a Thousand Words for Digital Natives? Learning-Related Challenges Presented by Pictures in Educational Media». Gehalten auf der ECER 2018, Bolzano, Italien, September 5. <https://eera-ecer.de/ecer-programmes/conference/23/contribution/45011/>.
- Bloom, Benjamin S., Max D. Engelhart, Edward J Furst, Walker H. Hill, und David R. Krathwohl. 1956. *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. New York: David McKay.
- Bock, Annekatrin, Inga Niehaus, und Maren Tribukait. 2015. «Abschlussbericht: Verwendung elektronischer Bildungsmedieninhalte in Braunschweiger Notebook-Klassen». Working Papers. Georg-Eckert-Institut - Leibniz-Institut für internationale Schulbuchforschung. <http://www.edumeres.net/urn/urn:nbn:de:0220-2015-00109>.
- Edwards, Barbara S., und Michael B. Ward. 2004. «Surprises from mathematics education research: student (mis)use of mathematical definitions». *Amer. Math. Monthly* 111: 411–24.
- European Commission, Directorate-General for the Information Society and Media, European Schoolnet, und Université de Liège. 2013. *Survey of Schools: ICT in Education : Benchmarking Access, Use and Attitudes to Technology in Europe's Schools*. Luxembourg: Publications Office. <http://dx.publications.europa.eu/10.2759/94499>.
- Geary, David C. 2007. «An Evolutionary Perspective on Learning Disability in Mathematics». *Developmental Neuropsychology* 32 (1): 471–519. <https://doi.org/10.1080/87565640701360924>.
- Gerjets, Peter, Katharina Scheiter, und Gabriele Cierniak. 2009. «The Scientific Value of Cognitive Load Theory: A Research Agenda Based on the Structuralist View of Theories». *Educational Psychology Review* 21 (1): 43–54. <https://doi.org/10.1007/s10648-008-9096-1>.
- Hubbard, Ruth. 1990. «Teaching mathematics reading and study skills». *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* 21: 265–69.
- Kirschner, Paul A., John Sweller, und Richard E. Clark. 2006. «Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching». *Educational Psychologist* 41 (2): 75–86. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1.
- Krathwohl, David R. 2002. «A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview». *Theory Into Practice* 41 (4): 212–18. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2.
- Levenshtein, Vladimir I. 1966. «Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions and Reversals». *Soviet Physics Doklady* 10: 707–10.

- Mason, Lucia, Maria Caterina Tornatora, und Patrik Pluchino. 2015. «Integrative Processing of Verbal and Graphical Information during Re-Reading Predicts Learning from Illustrated Text: An Eye-Movement Study». *Reading and Writing* 28 (6): 851–72. <https://doi.org/10.1007/s11145-015-9552-5>.
- Merriënboer, Jeroen J. G. van, und John Sweller. 2005. «Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions». *Educational Psychology Review* 17 (2): 147–77. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>.
- Österholm, Magnus. 2008. «Do students need to learn how to use their mathematics textbooks? The case of reading comprehension». *Nordic Studies in Mathematics Education* 13: 53–73.
- Paas, Fred, Alexander Renkl, und John Sweller. 2004. «Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture». *Instructional Science* 32 (1/2): 1–8. <https://doi.org/10.1023/B:TRUC.0000021806.17516.d0>.
- Paas, Fred, und John Sweller. 2014. «Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning». In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, herausgegeben von Richard Mayer, 2. Aufl., 27–42. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.004>.
- Panse, Anja, und Walther Paravicini. 2016. «Leseverhalten und Rationalität von Studienanfängerinnen und -anfängern». *Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*. <https://doi.org/10.17877/de290r-17641>.
- Schnotz, Wolfgang, Christoph Mengelkamp, Christiane Baadte, und Georg Hauck. 2014. «Focus of Attention and Choice of Text Modality in Multimedia Learning». *European Journal of Psychology of Education* 29 (3): 483–501. <https://doi.org/10.1007/s10212-013-0209-y>.
- Shepherd, Mary D., Annie Selden, und John Selden. 2009. «Difficulties First-year University Students Have in Reading Their Mathematics Text-books». Technical Report. Tennessee Technological University.
- Strohmaier, Anselm R., Konstantina Tatsidou, und Kristina M. Reiss. 2018. «Eye Movements during the Reading of Word Problems. Advances in the Use of Eye Tracking Data». *Gesellschaft Für Didaktik Der Mathematik*, 1759–62. <https://doi.org/10.17877/de290r-19712>.
- Sweller, John. 1988. «Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning». *Cognitive Science* 12 (2): 257–85. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4.
- Sweller, John, und Paul Chandler. 1991. «Evidence for Cognitive Load Theory». *Cognition and Instruction* 8 (4): 351–62. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_5.
- Sweller, John, Paul A. Kirschner, und Richard E. Clark. 2007. «Why Minimally Guided Teaching Techniques Do Not Work: A Reply to Commentaries». *Educational Psychologist* 42 (2): 115–21. <https://doi.org/10.1080/00461520701263426>.
- Sweller, John, Jeroen J. G. van Merriënboer, und Fred G. W. C. Paas. 1998. «Cognitive Architecture and Instructional Design». *Educational Psychology Review* 10 (3): 251–96. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>.

- Sydow, Steve. 2018. «Erhebung und Auswertung von Eye-Tracking-Daten im Rahmen einer hochschuldi-daktischen Studie zur Vorlesung ‹Rechnernetze›». Hochschule Stralsund. <https://www.hochschule-stralsund.de/fileadmin/hs-stralsund/HoDiMa/Paper/Bachelorarbeit-Sydow.pdf>.
- Sydow, Steve, und Paul Wolf. 2020. *AOIanalyseR v1.0.0.* <https://doi.org/10.5281/ZENODO.3635895>.
- Weber, Wibke. 2018. «Multidisziplinäre Forschungsperspektiven auf Infografiken und Datenvisualisierungen». In *Handbuch Visuelle Kommunikationsforschung*, herausgegeben von Katharina Lobinger, 1–25. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-06738-0_38-1.
- Weinberg, Aaron, Emilie Wiesner, Bret Benesh, und Timothy Boester. 2012. «Undergraduate Students' Self-Reported Use of Mathematics Textbooks». *PRIMUS* 22 (2): 152–75. <https://doi.org/10.1080/10511970.2010.509336>.
- Wolf, Paul, und Stefan Friedenberg. 2018. «Wer lesen kann, ist klar im Vorteil – Über die Problematik und Lösungsansätze zum Lesen und Verstehen mathematischer Texte im Studium». *Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*, 2027–30. <https://doi.org/10.17877/de290r-19793>.

Wir danken Anselm Strohmaier (TUM) für das Testen des AOI Sequence Chart Generators und die wertvollen Hinweise zur Verbesserung sowie Prof. Dr. Andreas Noack für seine Unterstützung vor und während der Studie.