

Konzeption eines ophthalmologischen Dashboards zur Visualisierung sowie Annotation und Vorhersage von Patientenverläufen

Trixy Meyer, Tobias Schlosser und Danny Kowerko

Junior Professorship of Media Computing,
Chemnitz University of Technology,
09107 Chemnitz, Germany,
trixy.meyer@informatik.tu-chemnitz.de

Zusammenfassung: Um den ophthalmologischen Behandlungsfortschritt von Patient:innen beurteilen zu können, ist es notwendig, einen detaillierten Überblick über die ophthalmologischen sowie die allgemeinmedizinischen Daten wie beispielsweise Diagnosen, Therapien und Medikationen zu erhalten. So stellt insbesondere die Beurteilung des Behandlungserfolges in Form der Vorhersage der Sehschärfe (Visus) aufgrund der Heterogenität und Unvollständigkeit der zur Verfügung stehenden Daten eine Herausforderung dar. Zur Visualisierung der ophthalmologischen Patient:innen-Verläufe sowie der Annotationen und der Vorhersagen des Visus wurde hierzu ein erstes prototypisches Dashboard in Microsoft Excel realisiert. Während das implementierte Dashboard zunächst eine Evaluierung der erhobenen Annotations- und Modellvorhersagen ermöglicht, wurde dessen Ästhetik mittels des VisAWI-Fragebogens sowie dessen Funktionalität mit weiteren gezielten Fragen untersucht. Das Ziel dieses Beitrags ist es somit, die Eigenschaften, die technischen Hintergründe sowie die Ästhetik des realisierten Dashboards zu beurteilen, um schließlich Schlussfolgerungen auf eine anwendungsbezogene Erweiterung innerhalb der medizinischen Versorgung zu ermöglichen. So erzielte das entwickelte Dashboard unter den fünf befragten Teilnehmer:innen eine insgesamt positive Beurteilung und erreichte indessen im Kontext des VisAWI-Fragebogens einen Wert von $5,5 \pm 1,3$ auf der 7-stufigen Likert-Skala.

Schlagwörter: Ophthalmologie, Dashboard, Visualisierung und Annotation

1 Motivation und Einleitung

In der Ophthalmologie nimmt zur Diagnose und Überwachung von Makulaerkrankungen wie der altersbedingten Makuladegeneration (AMD), dem diabetischen Makulaödem (DMÖ) und dem retinalen Venenverschluss (RVV) die optische Kohärenztomographie (OCT) eine Schlüsselrolle ein [SOS⁺20]. Mit Hilfe hochauflösender OCT-Scans der zentralen Netzhaut werden OCT-Biomarker erkannt, welche weitere Informationen über Diagnosen und den möglichen Behandlungserfolg liefern können. Durch auf künstlicher Intelligenz basierenden Ansätze können indessen unter anderem OCT-Biomarker automatisiert detektiert und interpretiert [SOS⁺20, SEBG⁺20, WVB⁺20] sowie die Qualität

des Behandlungserfolges anhand von Visus-Werten vorhergesagt werden [SBM⁺22]. Um verwendbare Ergebnisse zu erzielen, sind hierzu in der Regel manuelle Annotationen von ärztlichem Personal sowohl zum Anlernen der Modelle als auch zum Auswerten dieser notwendig. Diese Annotationen können in Annotation-Tools durchgeführt werden. So entwickeln Witowski et al. ein webbasiertes Tool zur kollaborativen Annotation von medizinischen Röntgenbildern unter der Verwendung eines Belohnungssystems [WCJ⁺21]. Mit steigender Anzahl an medizinischen Informationen wird es jedoch für Ärzt:innen auch immer komplexer, einen fundierten Behandlungsentschluss zu treffen. Aus diesem Hintergrund treten Arbeiten zur Visualisierung von Patient:innen-Verläufen sowohl in der Forschung als auch innerhalb der Versorgung weiter in den Vordergrund [HIMO⁺22].

1.1 Verwandte Arbeiten

In den letzten Jahren gewann die Visualisierung von medizinischen Daten immer mehr an Bedeutung. Dashboards entwickelten sich zur Überwachung des Infektionsgeschehens des SARS-CoV-2 Virus als eine der wichtigsten Informationsquellen für die Bevölkerung. Neben den medizinischen Geoinformationen [KBG20] ist es ebenso möglich, statistische Angaben über die Bettenbelegung, Alter oder Geschlecht der hospitalisierten Personen über mehrere Krankenhäuser hinweg darzustellen und als Plattform für Forschungsdaten zu nutzen [Bon22, SSK⁺22]. Auch die Forschungen zur Visualisierung von Informationen einzelner Patient:innen sind von hohem Interesse. Eine Möglichkeit der Darstellung dieser Daten stellt die Zeitreihen-Visualisierung dar [BAH07, GOT⁺19]. Ledesma et al. stellten in ihrer Arbeit eine Zeitreihen-Visualisierung der elektronischen Patientenakte von psychisch erkrankten Personen vor und ermöglichen damit einen Überblick über vorangegangene Arztbesuche und verschriebene Medikationen [LBS⁺19]. Auch Schmidt et al. implementierten ein prototypisches Analysetool mit Zeitreihen für Ärzt:innen, um den Zusammenhang zwischen der Visus-Messung und den entsprechenden Behandlungen zu untersuchen [SRG⁺19]. Eine andere Darstellungsform ist die radiale Visualisierung von Daten. Diese hat zum Vorteil, dass alle Informationen auf einem Blick zur Verfügung gestellt werden können, was jedoch mit einer erhöhten Herausforderung für die Wahrnehmung und kognitivem Aufwand einhergeht [BW14]. Bastardo et al. entwarfen einen radialen Überblick über klinische Vorkommnisse der Patient:innen, indem sie diese in verschiedenen farbliche Module wie zum Beispiel Notfälle oder Visiten einteilten [BCPR22]. Für die Darstellung der gesamten medizinischen Krankenakte teilten Zhang et al. den zuvor verarbeiteten Text in verschiedene Klassen ein und stellten diese unter anderem durch medizinische Kodierungen wie ICD-9 als Sunburst-Diagramm dar [ZAM⁺11].



Abb. 1: Ophthalmologisches Dashboard zur Visualisierung von Patient:innen-Verläufen sowie Annotation und Vorhersage von Visus-Werten eingeteilt in 6 Sektoren (A–F). Die hier dargestellten Informationen entstammen aus der Datenvektor-Tabelle der Visus-Serie 2002761 (siehe Tabelle 2).

1.2 Beitrag dieser Arbeit

In dieser Arbeit stellen wir einen ersten Entwurf eines in Microsoft Excel entwickelten Visualisierungs- und Annotations-Tool für Ophthalmolog:innen vor. Das Dashboard (siehe Abbildung 1) ermöglicht die Annotation von Visus-Werten von Personen, welche unter anderem an AMD, DMÖ oder RVV erkrankt sind. Neben den statistischen Angaben, der Geschlechter- und Altersverteilung bietet das Dashboard detaillierte Informationen zu einer ausgewählten Patientin bzw. einem ausgewählten Patienten. Diese Informationen beinhalten allgemeinmedizinische Daten, vorhergegangene Werte des Visus und der Netzhautdicke, OCT-Biomarker, Diagnosen sowie Medikamenteninformationen zu intravitrealen Injektionen (IVOM). In »Visual Acuity Prediction on Real-Life Patient Data Using a Machine Learning Based Multistage System« [SBM⁺22] wurde das in diesem Beitrag vorgestellte ophthalmologische Dashboard sowie dessen durch Makros implementierte Funktionalität bereits zur ärztlichen Annotation des Visus angewandt. So ermöglichte die Bereitstellung des Dashboards selbst nicht nur eine ärztliche Annotation des Visus, sondern auch die Gegenüberstellung der erhobenen Patient:innen-Verläufe im Kontext der realisierten Visus-Vorhersagen durch Modelle der künstlichen Intelligenz [SBM⁺22]. In diesem Beitrag erläutern wir die Implementierung des Dashboards und dessen Funktionen sowie

Aspekte der Ästhetik seitens der Zielgruppe (Augenärzt:innen). Für Letzteres kommt ein Fragebogen, bestehend aus dem Visual Aesthetics of Website Inventory (VisAWI) Fragebogen [MT10] und eigens für das Dashboard definierten Fragen, zum Einsatz.

2 Methoden und Implementierung

Das zur Visualisierung von Patient:innen-Daten und für die Annotation und Vorhersage von Visus-Werten entworfene ophthalmologische Dashboard ist in Microsoft Excel 2021 (Version 16.62) implementiert und kann somit auf allen Rechnern mit einem installierten Excel-Programm ausgeführt werden. Die Wahl der Verwendung von Microsoft Excel ist daraus begründet, dass dies ein den Ärzt:innen bereits bekanntes Programm darstellt und auch im Kontext der Kliniken Anwendung findet. Zudem ist eine schnelle Implementation und Anpassung als ein erster Dashboard-Entwurf gegeben.

2.1 Ophthalmologischer Datenkorpus

Die für die Visus-Annotation betrachteten Patient:innen stammen aus einem anonymisierten ophthalmologischen Datenkorpus des Maximalversorgers Klinikum Chemnitz gGmbH [RKEK17]. Dafür wurden Aufzeichnungen aus verschiedenen Krankenhaussystemen aggregiert und chronologisch zusammengeführt. Der Datenkorpus von über 49.000 Patient:innen besteht aus Freitexten und Bilddateien und basiert auf den Kategorien der allgemeinen Patienteninformation, Visus-Werten, OCT-Scans und den daraus resultierenden Biomarkern sowie Diagnosen als auch Behandlungen und Medikationen. Die heterogenen und meist unvollständigen ärztlichen Freitexte der Dokumentation sind vorverarbeitet und unvollständige OCT-Biomarker sind durch Modelle der künstlichen Intelligenz vervollständigt. Während diese Freitexte strukturiert und in eine einheitliche medizinische Terminologie überführt werden, gibt [SBM⁺22] eine detaillierte Beschreibung aller in diesem Zusammenhang realisierten Methoden. Für die Visus-Vorhersagen wurden Bedingungen an die entsprechenden Patientenakten gestellt. So wurden ausschließlich Augen der Patient:innen aufgenommen bei denen mindestens fünf Angaben zum Visus und eine der drei Krankheiten AMD, DMÖ oder RVV vorhanden waren, was zu einer Verringerung auf 1.496 Patient:innen führte. Die für die Visus-Vorhersage – und somit für die Modelle der künstlichen Intelligenz notwendigen Informationen – wurden indessen in einem Python-Skript zusammengeführt und als Datenvektor (siehe Tabelle 6) ausgegeben.

Eintrag	Kategorie	Beschreibung
0	Visus-Serien-ID	jede Visus-Serie erhält eine einzigartige ID
1	Patienten-ID	jede Patient:in besitzt eine anonyme Patienten-ID
2	Geburtsdatum	Geburtsdatum der Patient:in
3	Geschlecht	Geschlecht der Patient:in
4	Datum	Aktuell betrachtetes Datum
5-9	allgemeinmedizinische Informationen	Apoplex, arterielle Hypertonie, Diabetes mellitus, Herzinfarkt, Verwendung von Blutverdünnern
10	Visus	Dezimaler Visus Wert des Auges
11	Zentrale Netzhautdicke	Zentrale Netzhautdicke des Auges in Mikrometer
12 - 20	OCT-Biomarker	Intraretinale Flüssigkeit, Subretinale Flüssigkeit, retinale Pigmentepithel (RPE), RPE Abhebung, Subretinale Fibrose, Extern limitierende Membran (ELM), Ellipsoid, Foveale Depression, Narben
21 - 27	Diagnosen	altersbedingte Makuladegeneration (AMD), Cataract, Pseudophakie, retinaler Venenverschluss (RVV), diabetisches Makulaödem (DMÖ), Diabetische Retinopathie (DR), Gliose
28	Medikation	Verabreichte Medikation über intravitreale Injektion

Tabelle 1: Kategorien, welche auf dem Dashboard visualisiert werden. Der Eintrag beschreibt die Position innerhalb der Datenvektor-Tabelle (siehe Tabelle 2).

2.2 Vorverarbeitung

Aufgrund dessen, dass das Dashboard in Microsoft Excel implementiert ist, ist eine Überführung des in Abschnitt 2.1 beschriebenen Datenvektors in eine für Excel verwendbare Struktur notwendig. Alle zur Darstellung verwendeten Kategorien aus diesem Datenvektor sind in Tabelle 1 beschrieben. In der Vorverarbeitung werden über ein Python-Skript die durch Zahlen kodierte Informationen in strukturierte Textinformationen übersetzt. Zum Beispiel ist das Geschlecht des Patienten mit »0« hinterlegt, welches durch »männlich« ersetzt wird. Nachfolgend erstellt das Skript für jede Patientin bzw. jeden Patienten unabhängig der Augenseite Visus-Serien mit einer Länge von mindestens fünf und maximal zehn Visus-Werten. Jede Visus-Serie wird anschließend um einen weiteren Eintrag, welcher auf das Datum zur Vorhersage hinweist und allgemeinmedizinische Informationen zusammenfasst, ergänzt und erhält eine zufällige Visus-Serien-ID. Für die Zusammenfassung der allgemeinmedizinischen Informationen durchläuft das Skript den gegebenen Datenvektor der entsprechenden Patient:in und markiert das Vorhandensein von systemischen Erkrankungen mit True bzw. False, sofern dies einmal als Information vermerkt wurde. Ist dies nicht der Fall, wird stattdessen »-1« zurückgegeben. Abschließend werden alle Informationen für die Visus-Serien und die zusätzlich im Skript berechneten deskriptiven Statistiken von Geschlecht und Geburtsjahr abgespeichert. In Tabelle 2 ist ein Ausschnitt der Datenvektor-Tabelle dargestellt.

	Visus-Serien-ID	Geschlecht	Datum	Blutverd	Visus	RVV	IVOM	to_predict
Eintrag	0	3	4	8	10	24	28	29
0	2002761	männlich	01.08.16	-1	0.60	-1	eylea	-1
1	2002761	männlich	05.09.16	-1	0.60	zentral	-1	-1
2	2002761	männlich	06.10.16	-1	0.80	-1	eylea	-1
3	2002761	männlich	01.12.16	true	-1	-1	-1	0.1

Tabelle 2: Ausschnitt der Datenvektor-Tabelle mit ausgewählten Einträgen der Serien-ID 2002761. Zeile 3 stellt die hinzugefügte Zeile zur Vorhersage des Visus dar. Diese fasst allgemeinmedizinische Informationen zusammen (8) und markiert das Vorhersage-Datum (29). »-1« beschreibt das nicht Vorhandensein von Einträgen.

Die Excel-Datei, welche das Dashboard implementiert, erhält anschließend über Verknüpfungen alle Informationen aus der Datenvektor-Tabelle und legt diese in ein Arbeitsblatt ab. Um die im Dashboard enthaltenen Daten als auch Funktionalitäten vor Veränderungen oder Missbrauch zu schützen, sind alle enthaltenen Arbeitsblätter, ausgenommen des Dashboards selbst, ausgeblendet und passwortgeschützt. Alle zusätzlichen Berechnungen werden im direkt Dokument vorgenommen, um für die Visualisierung der Diagramme auch eine manuelle Eingabe von medizinischen Daten zu ermöglichen. So werden zum Beispiel die angegebenen Diagnosen zusätzlich in Zahlenwerte größer 0 übersetzt, damit in den Diagrammen die Punkte an der richtigen Diagnose eingetragen sind (siehe Abbildung 2). Zudem werden, für die Realisierung unterschiedlicher Darstellungen, die True- und False-Angaben der Diagnosen separiert.

2.3 Ophthalmologisches Dashboard

Das in Abbildung 1 dargestellte Dashboard ist in sechs Sektoren eingeteilt, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Die in einigen Sektoren vorhandenen Funktionalitäten sind in der Regel durch Makros, basierend auf Visual Basic Application (VBA) realisiert. Um während der Anwendung keine ungewollten Änderungen vornehmen zu können, sind alle Arbeitsblätter geschützt und bis auf das Dashboard-Arbeitsblatt ausgeblendet und somit den Anwender:innen nicht zugänglich.

Auswahl der Patient:innen Die Patient:innen-Auswahl innerhalb des Dashboards (siehe Abbildung 1, Sektor A) ermöglicht mit Hilfe der Funktion des Datenschnittes das Navigieren durch die jeweiligen Patient:innen und deren Visus-Serien, wobei die in einem anderen Arbeitsblatt enthaltenen Datenvektoren bezogen werden.

Allgemeine Patient:innen-Informationen Sektor B beschreibt allgemeine Informationen über den aktuell ausgewählten Patienten bzw. Patientin. Er gibt Aussagen über das Geschlecht, Geburtsjahr sowie das Vorhandensein von systemischen Erkrankungen und die Einnahme von Blutverdünnern. Sofern keine Informationen für die Kategorien vorhanden sind, wird dies durch einen Bindestrich dargestellt. Diese Informationen sind für alle Visus-Serien der zu behandelnden Person gleich.

Daten-Formatierungen Aufgrund dessen, dass beim Öffnen der Excel-Datei die Formatierungen der einzelnen Diagramme an Standardeinstellungen des verwendeten Rechners gebunden sind, ist es notwendig, eine automatisierte Formatierung der Diagramme zu ermöglichen. Dies ist durch ein hinterlegtes Makro, welches durch Drücken des Knopfes »Formatierungen aktualisieren« aktiviert wird, implementiert (Sektor C). Das Makro wählt alle Diagramme, welche von der Visus-Serie abhängig sind, an und setzt für diese die Datumsformatierung »dd.mm.yy« um. Zudem werden für einige Diagramme die Datenbeschriftungen aktualisiert.

Diagramme der Visualisierung In Sektor D befinden sich die von der Visus-Serie abhängigen Diagramme, welche an das gleiche Datum ausgerichtet sind. Die Diagramme für den Visus, zentrale Netzhautdicke sowohl IVOM sind durch Punktdiagramme mit Datenbeschriftungen realisiert. Dabei werden die entsprechenden Informationen aus dem Arbeitsblatt mit den enthaltenen Datenvektoren übernommen. Für den Fall, dass kein Eintrag vorhanden ist, werden diese durch Lücken dargestellt. Die Punktdiagramme werden ebenfalls für die Visualisierung der OCT-Biomarker und der Diagnosen verwendet. In der Vorverarbeitung (siehe Abschnitt 2.2) wurde jeder einzelnen Diagnose sowie jedem OCT-Biomarker ein Wert größer 0 zugeordnet. Dieser Wert bestimmt die Position innerhalb des Diagrammes (siehe Abbildung 2). Um unterschiedliche Darstellungen für das Vorhandensein (True) oder nicht Vorhandensein (False) jedes OCT-Biomarkers zu realisieren, sind des Weiteren zwei Dateneinträge notwendig. So werden alle vorhandenen Biomarker durch einen grünen Kreis und nicht vorhandene Biomarker, sofern explizit in den Patient:innen-Informationen darauf hingewiesen wurde, durch ein oranges Viereck dargestellt.

Visus-Vorhersage Sektor E ermöglicht die Annotation des Visus durch Ärzt:innen. Dabei kann der zu erwartende Visus eingetragen und gespeichert werden. Zudem ist die Auswahl des nächsten Visus-Wertes, also die Anzeige der nächsten Visus-Serie möglich. Alle genannten Funktionalitäten sind durch Makros implementiert. Bei der Vorhersage des Visus trägt der Arzt bzw. die Ärztin den angenommenen Wert in den dafür vorgesehenen Bereich ein und speichert diesen mit dem Klicken auf »Vorhersage speichern«. Dies startet ein

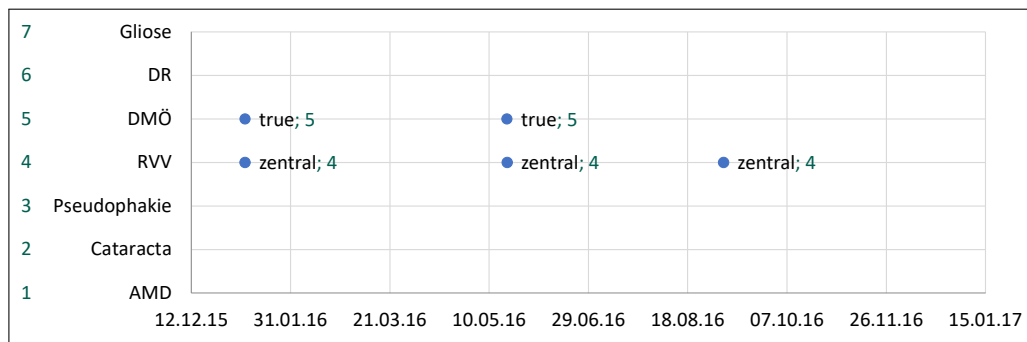


Abb. 2: Grundstruktur des Diagrammes Diagnosen. Der intern vergebene Wert z.B. für DMÖ »5« bestimmt die Position der Darstellung auf der y-Achse. Alle grün dargestellten Elemente sind abschließend im Dashboard nicht sichtbar.

Makro, welches den eingetragenen Wert in eine Tabelle eines verborgenen Arbeitsblattes überträgt. Wird anschließend ein neuer Wert eingetragen, wird dieser ebenfalls an die Tabelle übermittelt. Somit sind auch Korrekturen des eingegebenen Visus möglich.

Deskriptive Statistik In Sektor F sind zwei deskriptive Statistiken visualisiert. Dabei beziehen sich diese auf den gesamten eingelesenen Datensatz, das heißt auf alle enthaltenen Patient:innen. Die Geschlechterverteilung stellt ein Tortendiagramm dar. Dabei können die Kreissektoren männlich, weiblich und divers abbilden. Um die Altersspanne der Patient:innen widerzuspiegeln, visualisiert ein Histogramm die Häufigkeit der jeweiligen Zeitabschnitte, in denen die Patient:innen geboren sind.

2.4 Visus-Annotation

Für die Durchführung der Visus-Annotation erhielten neun Ärztinnen und Ärzte der ophthalmologischen Abteilung des Klinikum Chemnitz Dashboards mit unterschiedlichen Visus-Serien. Einer dieser Ärzte führte die Annotation über den gesamten zu annotierenden Datensatz durch und stand anschließend den anderen Ärzt:innen als geschulter Experte zur Verfügung. Diese erhielten einen Datensatz von 50 Visus-Serien und konnten die Annotation an jedem Rechner innerhalb des Klinikums durchführen.

2.5 Fragebogen

Für die Validierung des Dashboards wird unter anderem der VisAWI-Fragebogen zur Beurteilung der Facetten der Einfachheit, Vielfalt, Farbigkeit und Kunstfertigkeit eingesetzt. Dieser besteht aus 18 Items, welche durch eine 7-stufige Likert-Skala (von 1 „stimme

	Alter in Jahren	Erfahrung in Jahren
Mittelwert	28,0	2,3
Median	28,0	2,3
Minimum	24	1
Maximum	33	4

Tabelle 3: Statistische Verteilung der Teilnehmer:innen auf Alter und die Erfahrung in der Ophthalmologie, gemessen in Jahren. Insgesamt haben 5 Teilnehmer:innen die Frage über ihr Alter beantwortet und 3 Teilnehmer konnten Erfahrungen im Bereich der Ophthalmologie vorweisen.

überhaupt nicht zu“ bis 7 „stimme voll zu“) beurteilt werden. Insgesamt weist der VisAWI-Fragebogen ein Cronbachs Alpha von 0,94 [MT10, MT13] und somit einen exzellenten Grad der internen Konsistenz auf. Zusätzlich wurden 12 weitere Fragen bzw. Items ergänzt. Diese sollen einen allgemeinen Überblick über die Personen geben, welche den Fragebogen bearbeitet haben und weitere offene inhaltliche Fragen beantworten. Neben der Verwendung einer 7-stufigen Likert-Skala, besteht dieser zusätzlich aus offen gestellten Fragen. Für diesen Abschnitt des Fragebogens, wurde keine Konsistenzanalyse durchgeführt. In Anhang 5.2 sind alle Fragen bzw. Items aufgezeigt. Die Umfrage wurde über ein Online-Tool anonym umgesetzt. Dabei standen auf jeder Seite des Fragebogens eine Abbildung des Dashboards und zudem eine Online-Version mit der Möglichkeit der Auswahl verschiedener, künstlich generierter Patient:innen zur Verfügung.

3 Evaluation des Fragebogens

Im Folgenden werden die Ergebnisse des in Abschnitt 2.5 beschriebenen Fragebogens ausgewertet. Der Fragebogen wurde aktuell von fünf Personen vollständig ausgefüllt. Davon zählten zwei Personen zum ärztlichen Personal und drei zum nicht ärztlichen Personal, welche in der Regel Informatiker:innen mit Projektbezug, jedoch ohne Beteiligung an der Dashboardentwicklung waren. Zudem wurde abgefragt, wie lange die Personen bereits in der Ophthalmologie tätig sind bzw. im Zusammenhang der Ophthalmologie forschen. Im Durchschnitt sind dies 2,3 Jahre. Die Altersverteilung aller Teilnehmer:innen lag im Durchschnitt bei 28 Jahren. In Tabelle 3 sind alle allgemein-statistischen Angaben aufgeführt.

Der VisAWI-Fragebogen besteht aus 18 Items, welche durch eine 7-stufige Likert-Skala bewertet wurden. Einige der Items sind negativ formuliert. Für diese fand eine Negation der Skala vor Beginn der Auswertung statt. Im Folgenden stehen die Zahlen von 1-7 für das Bewertungsmaß, wobei 1 die schlechteste, 4 eine neutrale und 7 die beste Bewertung darstellen. Die durchschnittlichen Ausprägungen für den VisAWI-Fragebogen sind in Tabelle 4 angegeben. Dabei ist zu erkennen, dass über alle vier Facetten hinweg ein

VisAWI-Facetten	Mittelwert	Minimum	Maximum
Einfachheit	$5,5 \pm 1,0$	2	7
Vielseitigkeit	$4,9 \pm 1,6$	2	7
Farbigkeit	$5,3 \pm 1,2$	3	7
Kunstfertigkeit	$6,1 \pm 0,9$	3	7
Gesamt	$5,5 \pm 1,3$	2	7

Tabelle 4: Auswertung des VisAWI-Fragebogens gruppiert nach Facetten. Wobei 1 die schlechteste und 7 die beste Bewertung darstellen. Die durchschnittlichen Angaben der einzelnen Items sind in Anhang 5.3 aufgelistet.

durchschnittlicher Wert von $5,5 \pm 1,3$ erzielt werden konnte. Bei einem Maximalwert von 7 kann der erste Entwurf des Dashboards somit als positiv gewertet werden, jedoch sind weitere Verbesserungen notwendig.

In der Facette der Einfachheit sind zwei Aussagen zu erwähnen. Bei »Das Layout wirkt zu gedrängt.« wurde ein Mittelwert von 5,2 erzielt, dabei liegt die Standardabweichung bei $\pm 1,9$, was auf eine hohe Unentschlossenheit innerhalb der Teilnehmergruppe schließen lässt. Das Item »Auf dem Dashboard passt alles zusammen.« erzielte ebenso einen geringeren Wert von $5,0 \pm 1,0$. Somit ist darauf zu schließen, dass das Layout Bearbeitung bedarf, insbesondere an den Abständen zwischen den einzelnen Sektoren. Die Facette der Vielseitigkeit ist mit einer durchschnittlichen Bewertung von 4,9 und einer hohen Standardabweichung von $\pm 1,9$ unter dem Gesamtdurchschnitt von $5,5 \pm 1,3$. Insbesondere der Aussage »Das Layout wirkt dynamisch.« wurde mit einem Wert von $3,6 \pm 1,7$ stark widersprochen. Dem gegenüber steht das Item »Die Gestaltung wirkt einfallslos.«, welche mit $6,2 \pm 0,4$ positiv bewertet wurde. In der Facette der Farbigkeit wurden die Items über die Attraktivität und Wirkung der Farben im Mittel mit $5,0 \pm 1,4$ bzw. $\pm 1,0$ bewertet. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass das Farbkonzept überarbeitet werden sollte. Die Kunstfertigkeit erzielte einen Mittelwert von $6,1 \pm 0,9$, was die beste Bewertung darstellt. Lediglich das Item »Das Layout ist nicht zeitgemäß.«, weist mit einer Standardabweichung von $\pm 1,5$ Uneindeutigkeit auf. Das Layout ist aktuell sehr an die visuellen Möglichkeiten von Microsoft Excel gebunden, wobei die Verwendung dessen für einen ersten Entwurf des Dashboards aufgrund der einfachen Implementation und Anpassbarkeit als vorteilhaft angesehen wurde. Dennoch sollten Verbesserungen für das Layout und dessen Modernität erarbeitet und auch andere Implementationsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden.

Zum Abschluss des Fragebogens wurden aktuelle Fragen zu den Themen gewünschte Funktionalität und Statistiken gestellt. Diese wurden entweder als Items mit einer 7-stufige Likert-Skala (siehe Tabelle 5) oder offen formuliert. Anhand der Angaben zu den gestellten Items ist zu erkennen, dass insgesamt die statistischen Daten als wichtig empfunden und nicht auf eine andere Seite des Dashboards ausgelagert werden sollten. Zudem ist die Möglichkeit des Ein- und Ausblendens verschiedener Objekte, wie zum

Aussage	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
Statistische Angaben sind mir wichtig.	$6,6 \pm 0,5$	7,0	6	7
Statistische Angaben sollten auf einer separaten Seite und nicht mit den patientenbezogenen Daten angezeigt werden.	$3,2 \pm 1,3$	4,0	1	4
Ich möchte selbst bestimmen können, welche Darstellungen / Informationen mir angezeigt werden.	$4,6 \pm 2,3$	5,0	1	7

Tabelle 5: Auswertung zusätzlicher Aussagen über Statistiken und Darstellungsmöglichkeiten. Wobei 1 keine Zustimmung und 7 die volle Zustimmung der Aussage darstellen.

Beispiel Diagrammen oder ergänzenden Informationen auf dem Dashboard gewünscht. Über die offen gestellten Fragen können derzeit keine validen Aussagen getroffen werden, da diese hauptsächlich an ärztliches Personal gerichtet sind. Aus dieser Personengruppe haben jedoch nur zwei Personen aktuell an dem Fragebogen teilgenommen. Bei den offen gestellten Fragen lag der Schwerpunkt auf fehlende Informationen für Ärzt:innen. Aus den Antworten geht hervor, dass im speziellen die Darstellung von medizinischen Bildaufzeichnungen, OCT- und Fundusbilder, in dem Dashboard fehlen und weitere OCT-Biomarker in das entsprechende Diagramm mit aufzunehmen sind. Ebenso ist die Bewertung in Form einer prozentualen Anzeige des Therapieerfolges gewünscht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde der erste Entwurf eines ophthalmologischen Dashboards zur Visualisierung sowie Annotation und Vorhersage von Patient:innen-Verläufen vorgestellt. Der verwendete Datensatz wurde beschrieben und die durch Makros implementierte Funktionalität der Visus-Annotation erläutert. Aufgrund der Realisierung des Dashboards in Microsoft Excel ist die Anwendung für Ärzt:innen und Forscher:innen an Arbeitsstationen im Klinikum selbst möglich, ohne dass medizinische Patientendaten extern verarbeitet werden müssen. Das Dashboard fasst neben den statistischen Angaben der Geschlechter- und Altersverteilung auch allgemeinmedizinische Informationen von Patient:innen zusammen und visualisiert zeitliche Verläufe von Visus-Werten, der zentralen Netzhautdicke, OCT-Biomarkern und Diagnosen sowie deren Behandlungen mittels intravitrealer Injektionen. Um Aspekte der Ästhetik und weitere gewünschte Funktionalitäten iterativ bewerten zu können, wurde ein Fragebogen bestehend aus dem VisAWI-Fragebogen sowie Fragen zu weiteren Anforderungen entworfen. Dieser Bewertungsbogen wurde von 5 Personen online anonym beantwortet. Dabei nahmen zwei Personen des ärztlichen Personals des Klinikum Chemnitz gGmbH an der Umfrage teil. Bei dem VisAWI-Fragebogen konnten mit $5,5 \pm 1,3$ von maximal 7 Bewertungspunkten ein positives Ergebnis erzielt werden. Die Facette der Kunstfertigkeit hat dabei die beste Bewertung von $6,1 \pm 0,9$ im Durchschnitt

erhalten. Insbesondere das Item über die Sorgfalt ($6,3 \pm 0,5$) und das Konzept ($6,3 \pm 0,5$) erhielten hohe Bewertungen. Jedoch sind in den Facetten der Vielseitigkeit ($4,9 \pm 1,6$) und Farbigkeit ($5,3 \pm 1,2$) weitere Verbesserungen notwendig. Hier erhielten unter anderem die Attraktivität ($5,0 \pm 1,4$) und Wirkung ($5,0 \pm 1,0$) der Farben des Dashboard leicht niedrigere Bewertungen. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass statistische Angaben über den vorhandenen Datensatz von den befragten Teilnehmer:innen als wichtig erachtet werden und nicht auf eine andere Seite des Dashboards ausgelagert werden sollten. Dennoch ist die Möglichkeit des Ein- und Ausblendens verschiedener Objekte auf dem Dashboard gewünscht. Daher konkludieren wir, dass das Dashboard als ein erster Entwurf zur Visualisierung von zeitlichen Patient:innen-Verläufen geeignet ist. Jedoch sind weitere Verbesserungen notwendig. Insbesondere ist das Farbkonzept zu überarbeiten und die Funktionalität des Ein- und Ausblendens einzelner Elemente zu implementieren. Ebenso realisierbar ist die Darstellung der medizinischen Kodierungen wie in Form von ICD-10 Codes innerhalb des Dashboards. Im Kontext der Visus-Annotation ist ferner eine Visualisierung der Vorhersageergebnisse als Gegenüberstellung zwischen den Ärzt:innen und den Modellen der künstlichen Intelligenz angedacht. Dabei ist die Erweiterung der medizinischen Informationen, vorwiegend die Darstellung von OCT- und Fundusbildern, ein nächstes Ziel in der Weiterentwicklung des Dashboards.

Acknowledgment

This research is partially funded by the European Social Fund for Germany as well as the Medical Informatics Hub in Saxony (MiHUBx).

Literatur

- BAH07. Alex A. T. Bui, Denise R. Aberle, and Kangerloo Hooshang. TimeLine: Visualizing Integrated Patient Records. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 11(4):462–473, July 2007. Conference Name: IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine.
- BCPR22. Rute Bastardo, Mariana Castro, João Pavão, and Luis Ramos. A timeline model for clinical events: empowering data. *Procedia Computer Science*, 196:1053–1058, 2022.
- Bon22. Universitätsklinikum Bonn. Corona-Dashboard Universitätskliniken - UKBonn, June 2022.

- BW14. Michael Burch and Daniel Weiskopf. On the Benefits and Drawbacks of Radial Diagrams. In Weidong Huang, editor, *Handbook of Human Centric Visualization*, pages 429–451. Springer New York, New York, NY, 2014.
- GOT⁺19. Benjamin S Glicksberg, Boris Oskotsky, Phyllis M Thangaraj, Nicholas Giangreco, Marcus A Badgeley, Kipp W Johnson, Debajyoti Datta, Vivek A Rudrapatna, Nadav Rappoport, Mark M Shervey, Riccardo Miotto, Theodore C Goldstein, Eugenia Rutenberg, Remi Frazier, Nelson Lee, Sharat Israni, Rick Larsen, Bethany Percha, Li Li, Joel T Dudley, Nicholas P Tatonetti, and Atul J Butte. PatientExploreR: an extensible application for dynamic visualization of patient clinical history from electronic health records in the OMOP common data model. *Bioinformatics*, 35(21):4515–4518, November 2019.
- HIMO⁺22. Forhad Hossain, Rafiqul Islam-Maruf, Takuzou Osugi, Naoki Nakashima, and Ashir Ahmed. A Study on Personal Medical History Visualization Tools for Doctors. In *2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech)*, pages 547–551, March 2022.
- KBG20. Maged N. Kamel Boulos and Estella M. Geraghty. Geographical tracking and mapping of coronavirus disease COVID-19/severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) epidemic and associated events around the world: how 21st century GIS technologies are supporting the global fight against outbreaks and epidemics. *International Journal of Health Geographics*, 19(1):8, s12942–020–00202–8, December 2020.
- LBS⁺19. Andres Ledesma, Niranjan Bidargaddi, Jörg Strobel, Geoffrey Schrader, Hannu Nieminen, Ilkka Korhonen, and Miikka Ermes. Health timeline: an insight-based study of a timeline visualization of clinical data. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 19(1):170, December 2019.
- MT10. Morten Moshagen and Meinald T. Thielsch. Facets of visual aesthetics. *International Journal of Human-Computer Studies*, 68(10):689–709, October 2010.
- MT13. Morten Moshagena and Meinald T. Thielsch. Visual Aesthetics of Websites Inventory. Technical report, American Psychological Association, December 2013. Type: dataset.
- RKEK17. Miriam Rößner, Stefan Kahl, Katrin Engelmann, and Danny Kowerko. Preparing clinical ophthalmic data for research applications. In *INFORMATIK 2017*, page 10, Chemnitz, 2017. Verlag Gesellschaft für Informatik, Bonn.

- SBM⁺22. Tobias Schlosser, Frederik Beuth, Trixy Meyer, Arunodhayan Sampath Kumar, Gabriel Stolze, Olga Furashova, Katrin Engelmann, and Danny Kowerko. Visual Acuity Prediction on Real-Life Patient Data Using a Machine Learning Based Multistage System. *arXiv:2204.11970 [cs, eess]*, April 2022. arXiv: 2204.11970.
- SEBG⁺20. Ursula Schmidt-Erfurth, Hrvoje Bogunovic, Christoph Grechenig, Patricia Bui, Maria Fabianska, Sebastian Waldstein, and Gregor S. Reiter. Role of Deep Learning–Quantified Hyperreflective Foci for the Prediction of Geographic Atrophy Progression. *American Journal of Ophthalmology*, 216:257–270, August 2020.
- SOS⁺20. Philipp Seeböck, José Ignacio Orlando, Thomas Schlegl, Sebastian M. Waldstein, Hrvoje Bogunović, Sophie Klimscha, Georg Langs, and Ursula Schmidt-Erfurth. Exploiting Epistemic Uncertainty of Anatomy Segmentation for Anomaly Detection in Retinal OCT. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 39(1):87–98, January 2020. Conference Name: IEEE Transactions on Medical Imaging.
- SRG⁺19. Christoph Schmidt, Martin Röhlig, Bastian Grundel, Philipp Daumke, Marc Ritter, Andreas Stahl, Paul Rosenthal, and Heidrun Schumann. Combining Visual Cleansing and Exploration for Clinical Data. In *2019 IEEE Workshop on Visual Analytics in Healthcare (VAHC)*, pages 25–32, October 2019.
- SSK⁺22. Brita Sedlmayr, Martin Sedlmayr, Björn Kroll, Hans-Ulrich Prokosch, Julian Gruendner, and Christina Schüttler. Improving COVID-19 Research of University Hospitals in Germany: Formative Usability Evaluation of the CODEX Feasibility Portal. *Applied Clinical Informatics*, 13(2):400–409, April 2022.
- WCJ⁺21. Jan Witowski, Jongmum Choi, Soomin Jeon, Doyun Kim, Joowon Chung, John Conklin, Maria Gabriela Figueiro Longo, Marc D. Succi, and Synho Do. MarkIt: A Collaborative Artificial Intelligence Annotation Platform Leveraging Blockchain For Medical Imaging Research. *Blockchain in Healthcare Today*, May 2021.
- WVB⁺20. Sebastian M. Waldstein, Wolf-Dieter Vogl, Hrvoje Bogunovic, Amir Sadeghipour, Sophie Riedl, and Ursula Schmidt-Erfurth. Characterization of Drusen and Hyperreflective Foci as Biomarkers for Disease Progression in Age-Related Macular Degeneration Using Artificial Intelligence in Optical Coherence Tomography. *JAMA Ophthalmology*, 138(7):740, July 2020.

- ZAM⁺11. Zhiyuan Zhang, Faisal Ahmed, Arunesh Mittal, IV Ramakrishnan, Rong Zhao, Asa Viccellio, and Klaus Mueller. AnamneVis: A Framework for the Visualization of Patient History and Medical Diagnostics Chains. page 4, 2011.

5 Appendix

5.1 Datenvektor

Eintrag	Beschreibung	
1.	Aktuelles Datum in Tagen seit der Geburt	1 20461, 20495, 20523, 20551
2.	Geburtsjahr	2 1960, 1960, 1960, 1960
3.	Geschlecht	3 0, 0, 0, 0
4.	Visus (l/r)	4 0.8, 0.5, 0.5, 0.5
Behandlungen		5 -1, -1, -1, -1
5.	Medikation (l/r): Eylea oder Lucentis	6 -1, -1, -1, -1
6.–8.	Allgemeinmedizinische Informationen: Apoplex, Blutverdünner und Herzinfarkt	7 -1, -1, -1, -1
OCT-Scans		8 -1, -1, -1, -1
9.–14.	OCT-Biomarkers (l/r): ELM, Ellipsoid, Foveale Depression, Narben, RPE und Subretinale Fibrosise	9 -1, -1, -1, -1
15.–17.	Verwandte Informationen (l/r): zentrale Netzhautdicke, intraretinale und subretinale Flüssigkeit	10 -1, -1, -1, -1
Zusätzliche Daten		11 1, -1, -1, -1
18.–24.	Erkrankungen (l/r): AMD, DME, und RVV sowie Katarakt, Diabetische Retinopathie, Gliose, und Pseudophakie	12 -1, -1, -1, -1
		13 -1, -1, -1, -1
		14 -1, -1, -1, -1
		15 431, -1, -1, -1
		16 -1, -1, -1, -1
		17 -1, -1, -1, -1
		18 -1, -1, -1, -1
		19 0, -1, -1, -1
		20 1, -1, -1, -1
		21 -1, -1, -1, -1
		22 -1, -1, -1, -1
		23 -1, -1, -1, -1
		24 -1, -1, -1, -1

(a) Datenbeschreibung

(b) Datenvektor

Tabelle 6: Übersicht des ophthalmologischen Datensatz mit Datensatzbeschreibung (a) und der Struktur des Datenvektors (b) aus [SBM⁺22]. Wo bei »l/r« die Verfügbarkeit der Daten für beide Augen und »-1« das nicht Vorhandensein von Informationen beschreibt.

5.2 Fragebogen

Frage bzw. Item		Antwortmöglichkeiten	
Teilnehmer:innen-Statistik			
1	Wie alt sind Sie?	Zahlenwert	
2	Was trifft auf Sie zu?	Chefärztin / Chefarzt, Oberärztin / Oberarzt, Fachärztin / Facharzt, Assistenzärztin / Assistenzarzt, Informatikerin / Informatiker Sonstiges	
3	Wie lange sind Sie bereits in der Ophthalmologie tätig?	Zahlenwert	
VisAWI			
4	Einfachheit	Das Layout wirkt zu gedrängt.	Likert-Skala
5		Das Layout ist gut zu erfassen.	
6		Das Layout erscheint angenehm gegliedert.	
7		Das Dashboard erscheint zu uneinheitlich.	
8		Auf dem Dashboard passt alles zusammen.	
9	Vielseitigkeit	Die Layoutgestaltung ist uninteressant.	Likert-Skala
10		Das Layout ist originell.	
11		Die Gestaltung wirkt einfallslos.	
12		Das Layout wirkt dynamisch.	
13		Das Layout ist angenehm vielseitig.	
14	Farbigkeit	Die farbliche Gesamtgestaltung wirkt attraktiv.	Likert-Skala
15		Die Farben passen nicht zueinander.	
16		Der Farbeinsatz ist nicht gelungen.	
17		Die Farben haben eine angenehme Wirkung.	
18	Kunstfertigkeit	Das Layout ist professionell.	Likert-Skala
19		Das Layout ist nicht zeitgemäß.	
20		Das Dashboard erscheint mit Sorgfalt gemacht.	
21		Das Layout wirkt konzeptlos.	
Statistiken und gewünschte Funktionalität			
22	Statistische Angaben sind mir wichtig.		Likert-Skala
23	Statistische Angaben sollten auf einer separaten Seite und nicht mit den patientenbezogenen Daten (Allgemeines, Visus, zentrale Netzhautdicke, OCT-Biomarker und IVOM) angezeigt werden.		Likert-Skala
24	Welche Statistischen Angaben soll das Dashboard zukünftig enthalten? /		freie Eingabe
25	Ich möchte selbst bestimmen können, welche Darstellungen / Informationen mir angezeigt werden. z.B. über das Ein- und Ausblenden verschiedener Diagramme		Likert-Skala
26	Welche Darstellungen / Informationen fehlen auf dem Dashboard um besser Entscheidungen für die weiterführende Therapie der Patien:innen zu treffen?		freie Eingabe
27	Welche Darstellungen / Informationen fehlen auf dem Dashboard um besser Entscheidungen für die weiterführende Therapie von DMÖ Patien:innen zu treffen?		freie Eingabe
28	Welche Darstellungen / Informationen erachten Sie als überflüssig und warum?		freie Eingabe
29	Welches Diagramm hat Ihnen besonders gut oder nicht gut gefallen? Und warum?		freie Eingabe
30	Welche Verbesserungsvorschläge haben Sie?		freie Eingabe

Tabelle 7: Enthaltene Fragen bzw. Items des Evaluierungsfragebogens des vorgestellten ophthalmologischen Dashboards. Die Likert-Skala enthält 7 Stufen von Stimme überhaupt nicht zu (1) bis Stimme voll zu (7).

5.3 Ergebnisse der Likert-Skala-Items

Item			Mittelwert	Median	Minimum	Maximum
VisAWI						
4	Einfachheit	Das Layout wirkt zu gedrängt. (N)	5,2 ± 1,9	6,0	2	7
5		Das Layout ist gut zu erfassen.	5,8 ± 0,5	6,0	5	6
6		Das Layout erscheint angenehm gegliedert.	6,0 ± 0,0	6,0	6	6
7		Das Dashboard erscheint zu uneinheitlich. (N)	6,0 ± 1,0	6,0	5	7
8		Auf dem Dashboard passt alles zusammen.	5,0 ± 0,7	5,0	4	6
9	Vielseitigkeit	Die Layoutgestaltung ist uninteressant. (N)	5,6 ± 1,1	6,0	4	7
10		Das Layout ist originell.	4,6 ± 1,7	5,0	2	6
11		Die Gestaltung wirkt einfallslos. (N)	6,2 ± 0,4	6,0	6	7
12		Das Layout wirkt dynamisch.	3,6 ± 1,7	4,0	2	6
13		Das Layout ist angenehm vielseitig.	4,4 ± 1,5	4,0	3	6
14	Farbigkeit	Die farbliche Gesamtgestaltung wirkt attraktiv.	5,0 ± 1,4	6,0	3	6
15		Die Farben passen nicht zueinander. (N)	5,4 ± 1,5	6,0	3	7
16		Der Farbeinsatz ist nicht gelungen. (N)	5,8 ± 0,8	6,0	5	7
17		Die Farben haben eine angenehme Wirkung.	5,0 ± 1,0	5,0	4	6
18	Kunstfertigkeit	Das Layout ist professionell.	6,0 ± 0,7	6,0	5	7
19		Das Layout ist nicht zeitgemäß. (N)	5,4 ± 1,5	6,0	3	7
20		Das Dashboard erscheint mit Sorgfalt gemacht.	6,4 ± 0,5	6,0	6	7
21		Das Layout wirkt konzeptlos. (N)	6,4 ± 0,5	6,0	6	7
Statistiken und gewünschte Funktionalität						
22	Statistische Angaben sind mir wichtig.		6,6 ± 0,5	7,0	6	7
23	Statistische Angaben sollten auf einer separaten Seite und nicht mit den patientenbezogenen Daten angezeigt werden.		3,2 ± 1,3	4,0	1	4
25	Ich möchte selbst bestimmen können, welche Darstellungen / Informationen mir angezeigt werden.		4,6 ± 2,3	5,0	1	7

Tabelle 8: Statistische Verteilung der 7-stufigen Likert-Skala-Ergebnisse. Die Bewertung negativer Items (N) sind bereits negiert. Somit bedeuten 7 Bewertungspunkte für alle Aussagen eine positive Bewertung und 1 Punkt die schlechteste Bewertung. Das heißt, dass 7 Bewertungspunkte für »Das Layout wirkt zu gedrängt. (N)« als positiv zu werten ist, wonach das Layout nicht gedrängt wirkt.