

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart
Universitätsstraße 38
D–70569 Stuttgart

Masterarbeit

Immersive Analyse von Dynamischen Netzwerken mit Multivariaten Daten

Anja Groß

Studiengang: Softwaretechnik

Prüfer/in: Prof. Dr. Daniel Weiskopf

Betreuer/in: Michael Becher, M.Sc.,
Moataz Abdelaal, M.Sc.,
Nina Dörr, M.Sc.

Beginn am: 13. Dezember 2022

Beendet am: 13. Juni 2023

Kurzfassung

Dynamische Netzwerke findet man in vielen verschiedenen Bereichen wieder, seien es Computer-Netzwerke, Bahnliniennetze oder soziale Netzwerke. Deren Visualisierung beschränkt sich bisher auf Desktop-Anwendungen: Meist werden verschiedene Ansichten parallel nebeneinander gestellt, um die Daten aus verschiedenen Perspektiven über die Zeit hinweg zu beobachten. Visualisierungen in VR könnten dem Anwender eine immersive Auseinandersetzung mit den Daten bieten, sowie durch die 3-Dimensionalität der virtuellen Umgebung mehr Platz für deren Explorierung zur Verfügung stellen. Bisher werden allerdings nur Graphen ohne Zeitabhängig und aufgrund der Verwendung von Node-Link Repräsentationen auf eine sehr abstrakte Art dargestellt. Diese Arbeit zielte darauf ab, dynamische Netzwerke auf eine realitätsnahe Weise für den Benutzer darzustellen, und dabei den Raum der zur Verfügung steht auszunutzen. Hierfür wurden Konzepte zur Visualisierung dynamischer Netzwerke in VR auf Basis eines Datensatzes entwickelt, der Informationen bezüglich Publikationen im Rahmen der IEEE VIS Konferenz beinhaltet. An das Konzept der "Small multiples"-Metapher wurde dabei die "S Zimmer-Metapher" vorgestellt: Jedes Zimmer repräsentiert ein Veröffentlichungsjahr und beinhaltet alle Autoren, die in diesem Jahr mindestens ein Paper veröffentlicht haben. Die Zimmer sind miteinander verbunden, sodass der Benutzer sich inmitten der Autoren frei bewegen und von Zimmer zu Zimmer gehen kann. Auf dieser Basis wurde ein Prototyp erstellt. In einer Benutzerstudie wurde dieser auf dessen Benutzererfahrung hin überprüft. Dabei fiel vor Allem auf, dass es einigen Studienteilnehmern wichtig war, stets einen Überblick über die Daten zu erhalten. Zudem hatten alle Teilnehmer den Drang, sich schnell innerhalb eines Zimmers fortbewegen zu können. Gerade im Rahmen der Vor- und Nachbereitung von Konferenzen oder zu Recherchezwecken sahen sie den Mehrwert einer solchen Anwendung. Dabei bietet sie, im Vergleich zu einem Browser und dem Selektieren von Links, eine immersivere Auseinandersetzung mit den vernetzten Autoren.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
2. Verwandte Arbeiten	13
2.1. Dynamische Netzwerke und Ego-Netzwerke	13
2.2. Visualisierung von Netzwerken und Graphen in VR	15
2.3. Visualisierung zeitabhängiger Daten in VR	16
2.4. Data Visceralization	16
3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR	17
3.1. Verwendeter Datensatz	17
3.2. Zimmer-Metapher	18
3.3. Ansichten	18
3.4. Navigation	19
3.5. Datenvisualisierung	23
4. Implementierung	29
4.1. Verwendete Technologien	29
4.2. Parsen des Datensatzes	30
4.3. Ansichten	30
4.4. Autor-/Paper-Repräsentationen und Datenvisualisierung	31
4.5. Paper-Linse	33
4.6. Navigation	34
5. Benutzerstudie	41
5.1. Teilnehmer	41
5.2. Ablauf	41
5.3. Ergebnisse und Diskussion	43
6. Zusammenfassung und Ausblick	49
Literaturverzeichnis	51
A. Fragebogen	55

Abbildungsverzeichnis

3.1. Zimmer-Metapher: Drei Räume nebeneinander, jeder Raum repräsentiert ein Jahr des Datensatzes. Hat ein Autor mind. ein Paper in dem Jahr veröffentlicht, wird er in dem dazugehörigen Raum dargestellt. Ein Paper wird als Tisch repräsentiert. Je nach Linsenauswahl (siehe Abschnitt 3.5.1 zur Datenvisualisierung) werden auch die Paper visualisiert die in dem Jahr veröffentlicht wurden, und jeder Autor, der an einem Paper mitgearbeitet hat, steht an dessen Tisch.	19
3.2. Die Übersichts-Ansicht in der Top-Down Sicht: Jede Zeile entspricht einem Jahrzehnt. Die Zimmer sind mit den Jahreszahlen aufsteigen von links nach rechts angeordnet. Die Jahrzente sind von oben nach unten aufsteigen angeordnet. Manche Zimmer beinhalten nur Autoren, andere zusätzlich noch deren veröffentlichte Paper in dem jeweiligen Jahr und die Verbindungen dazwischen (letztere sind türkis eingefärbt). Der Benutzer kann sich so einen Überblick über alle Jahre des Datensatzes machen und beispielsweise Jahre mit besonders vielen Publikationen auf einen Blick sehen.	20
3.3. Die Ego-Ansicht in der Top-Down Sicht: Jedes Zimmer entspricht einem Jahr, in dem der zuvor selektierte Autor Paper veröffentlicht hat. Die Autoren, mit denen er bei jedem Paper zusammengearbeitet hat, sind mit den Papern verbunden (hier mit türkisfarbenen Linien dargestellt). Die Brücken zwischen den Zimmern zeigen die Jahre, in denen er keine Paper veröffentlicht hat. Diese können überquert werden, um vom einen Zimmer zum nächsten zu gelangen.	20
3.4. Der Benutzer (hier in der Mitte eingezeichnet) befindet sich vor den Zimmern der Übersichts-Ansicht und kann diese, wie auf einer Ebene, vor sich nach links, nach rechts, nach oben und nach unten bewegen.	21
3.5. Um einzelne Zimmer einer Ansicht miteinander zu vergleichen, werden diese in einer der Ansichten (entweder der Übersichts- oder der Ego-Ansicht) ausgewählt. Die ausgewählten Zimmer werden nebeneinander positioniert, können aber durch den Benutzer frei bewegt werden.	22
3.6. Die Skizze zeigt ein Zimmer mit zwei Aussichtspunkten (hier als graue Rechtecke). Das obere Rechteck repräsentiert die mittlere Aussichtsplattform, welche in der Mitte des Zimmers über den Köpfen der Autoren positioniert und transparent ist. Das untere Rechteck stellt den Aussichtspunkt dar, welcher in gleicher Höhe wie die mittlere Plattform, jedoch direkt an der Wand positioniert wird. Der Benutzer kann auf sich auf beide Aussichtspunkte bewegen und ist dann in erhöhter Position, sodass er eine bessere Übersicht über das Zimmer erhält.	22

4.4. Die blaue Sphere stellt ein Paper dar. Darüber befinden sich der Name des Papers, sowie ein Stern, der ein Award repräsentiert den das Paper erhalten hat. Die türkisfarbenen Verbindungen zwischen dem Paper und den Autoren zeigt, dass diese Autoren an diesem Paper mitgearbeitet haben.	33
4.5. Der Programmcode für die Positionierung der Autoren relativ zu den Papern an denen sie innerhalb eines Jahres gearbeitet haben: Auf alle Autoren eines Papers werden zwei physikalische Kräfte gewirkt: Die eine drückt die Autoren zum Paper hin, die andere drückt sie vom Paper weg, sodass immer ein Abstand von 4 Metern zwischen einem Paper und einem Autor gewahrt wird.	34
4.6. Ein Zimmer aus der Übersichts-Ansicht, nachdem der Benutzer alle Zimmer der Übersichts-Ansicht näher zu sich herangezogen hat: Die blauen Sphären sind die Paper, die im Jahr 2012 veröffentlicht wurden, die weißen Humanoiden sind die Autoren, die an diesen gearbeitet haben. Hat ein Autor an einem Paper mitgewirkt, so wird eine türkis-farbene Verbindung zwischen ihnen dargestellt. Durch die Kräfte, die sich so auf die Autoren wirken, dass sie an die Paper herangeschoben und gleichzeitig mit einer festen Distanz zu ihnen gehalten werden, entstehen kreisförmige Muster um die Paper herum.	35
4.7. Blick von der mittleren Plattform: Der Benutzer steht auf der mittleren Plattform und hat eine gute Übersicht über alle Autoren, Paper und den Verbindungen zwischen ihnen. Rechts im Bild schwebt das Nähe-Menü.	36
4.8. Der Benutzer befindet sich hier auf der mittleren Plattform und blickt auf seine Füße. Die Plattform ist transparent, sodass auch Autoren und Paper betrachtet werden können, die sich darunter befinden.	36
4.9. Der Aussichtspunkt an der hinteren Wand eines Raums: Hoch auf die Säule kann sich der Benutzer teleportieren, um einen Überblick über alle Autoren und Paper innerhalb des Raums zu bekommen.	37
4.10. Der Blick vom Aussichtspunkt an der hinteren Wand eines Raums aus.	37
4.11. Die Teleport-Funktion: Schiebt der Benutzer den Joystick des linken Controllers nach vorne während er in eine Richtung zeigt, erscheint ein gebogener Strahl, der in einem Kreis auf dem Boden mündet. Durch Neigung der Hand kann die Distanz bestimmt werden. Der Kreis zeigt den Punkt an, an den teleportiert wird. Lässt der Benutzer den Joystick los, wird er an diesen Punkt teleportiert. Ist der Strahl jedoch rot, kann nicht an den ausgewählten Punkt teleportiert werden.	38
4.12. Das "Nähe-Menü": Es folgt dem Benutzer und besteht aus zwei Knöpfen: Nach Selektion des oberen Knopfs landet der Benutzer in der Top-Down Sicht der Übersichts-Ansicht, nach Selektion des unteren Knopfs landet er in der Top-Down Sicht der Ego-Ansicht (vorausgesetzt es wurde bereits ein Autor selektiert).	39

1. Einleitung

Graphen und deren Visualisierung haben in der Forschung schon seit langer Zeit einen wichtigen Stellenwert. Es gibt zahlreiche Arbeiten darüber, wie Graphen in Bezug auf bestimmte Datensätze und in bestimmten Anwendungsfällen dargestellt werden sollten. Bekannte Repräsentationen umfassen dabei vor Allem Node-Link Repräsentationen und Adjazenz-Matrizen.

Der Begriff „Netzwerke“ wird synonym zum Graphen-Begriff genutzt. Dynamische Netzwerke, um die es in dieser Arbeit geht, beinhalten allerdings zusätzlich eine Zeitabhängigkeit. Es handelt sich hier um ein Netzwerk oder einen Graphen, der sich über die Zeit hinweg verändert: Neue Knoten und Kanten kommen hinzu, andere bestehende Knoten und Kanten verschwinden im Laufe der Zeit. Gute Beispiele hierfür sind soziale Netzwerke: Die Knoten sind hier die Menschen, die Kanten repräsentieren die Verbindungen auf Basis von geschlossenen Freundschaften. Im Laufe der Zeit melden sich Menschen neu an, andere löschen ihre Profile. Sie schließen neue Bekanntschaften oder beenden diese.

Ego-Netzwerke sind Netzwerke, welche sich um einen zentralen Knoten und dessen Verbindungen zu anderen Knoten drehen.

Sowohl dynamische Netzwerke, also auch dynamische Ego-Netzwerke werden bisher vor allem mithilfe von Desktop-Anwendungen visualisiert. Dabei werden oftmals verschiedene nebeneinander liegende Ansichten parallel verwendet, um alle Aspekte eines Netzwerks abzudecken. In den vergangenen Jahren wurden Graphen auch vermehrt in VR visualisiert. Virtuelle Umgebungen bieten andere Interaktionsmöglichkeiten und einen Grad an Immersivität, den Desktop-Anwendungen nicht bieten können. Dabei muss ein Knoten eines Graphen beispielsweise nicht distanziert betrachtet werden: Der Benutzer kann die Position eines Knotens einnehmen (siehe Sorger et al. [SAK+21]), und eine ganz andere Sicht auf die nahe Umgebung werfen. Obwohl Graphen in der VR Forschung angekommen sind, fehlen bisher noch Visualisierungsmöglichkeiten für dynamische Netzwerke in virtuellen Umgebungen. Dabei können virtuelle Umgebungen nicht nur mehr Platz für neuartige Visualisierungsformen bezüglich der sich ständig verändernden Struktur dynamischer Netzwerke liefern, sondern auch für die Visualisierung der Daten einzelner Knoten und Kanten.

Der durch Lee et al. [LBL+21] geprägte „Data Visceralization“Begriff beschreibt die realitätsnahe Visualisierung von Daten, welche sonst auf sehr abstrakte Arten dargestellt werden. Sie stellen für einen Größenvergleich mehrere virtuelle Repräsentationen bekannter Bauwerke in eine virtuelle Umgebung und ermöglichen es, deren wahre Größen direkt miteinander vergleichen zu können. Dabei entsprechen deren Größen die ihrer realen Vorbilder. Mithilfe einer VR Brille ist es also möglich, sich als Benutzer neben die Bauwerke zu stellen und ihre Ausmaße zu erleben. Das Größenverständnis, welches man auf diese Weise erfährt, ist ein völlig anderes als wenn man beispielsweise die bloßen Zahlen sieht. Realitätsnahe Erfahrungen bei der Betrachtung von und der Interaktion mit Datenvisualisierungen zu ermöglichen war, neben der Visualisierung der Daten, eines der Ziele für diese Arbeit.

1. Einleitung

In dieser Arbeit werden in Kapitel 3 Konzepte für die Visualisierung dynamischer Netzwerke vorgestellt, welche auf Basis des „Visualization Publications Dataset“¹ entwickelt wurden. Dieser Datensatz beinhaltet alle im Rahmen der IEEE VR Konferenz veröffentlichten Paper zwischen den Jahren 1990 und 2021. Für jedes Paper sind Daten wie das Veröffentlichungsjahr, der Titel und die Autoren verfügbar. Auf Basis dieser Konzepte wurde ein Prototyp entwickelt, auf dessen Realisierung in Kapitel 4 näher eingegangen wird. In Kapitel 5 wird der Prototyp im Rahmen einer Benutzerstudie hinsichtlich seiner Benutzererfahrung überprüft. Schließlich werden die Ergebnisse der Arbeit in Kapitel 6 zusammengefasst, die Grenzen des Prototypen erläutert und potenzielle Forschungsrichtungen vorgestellt.

¹<https://sites.google.com/site/vispubdata/home>

2. Verwandte Arbeiten

Es existieren zahlreiche Arbeiten zur Visualisierung von Graphen im Allgemeinen, jedoch beziehen sich diese vor Allem auf Desktop-Anwendungen. Durch die allgemein ansteigende Benutzung von VR Brillen in den vergangenen Jahren entstanden auch im Bereich der Graphen- oder Netzwerk-Visualisierung Publikationen, welche die Implementierung von Graphen-Visualisierungen zum Ziel hatten. Dabei sollte vor allem die Immersivität und der Bezug zu den Daten gesteigert, sowie die neu hinzugekommenen Navigations- und Interaktionsmöglichkeiten beleuchtet werden. Durch den neu dazugewonnenen Platz den man im Vergleich zu Desktop-Anwendungen in der virtuellen Umgebung hat, können die Daten der Graphen auf neue Arten im Raum platziert werden.

2.1. Dynamische Netzwerke und Ego-Netzwerke

Dynamische Netzwerke sind Netzwerke, die sich über die Zeit verändern. Ein gutes Beispiel hierfür sind soziale Netzwerke: Neue Benutzer und Verbindungen kommen hinzu, andere verschwinden. Diese können jeweils unterschiedliche Attribute aufweisen, welche sich über die Zeit verändern können.

Dynamische Ego-Netzwerke beziehen hingegen konkret auf die Visualisierung eines zeitabhängigen Ego-Netzwerks. Ein Ego-Netzwerk ist ein Netzwerk, welches ein zentrales Element beinhaltet und jene Elemente, welche sich in direkter oder indirekter Verbindung zum zentralen Element befinden. Ego-Netzwerke können für sich allein visualisiert werden, können aber auch als Teil eines größeren Netzwerks betrachtet werden.

2.1.1. Visualisierung dynamischer Netzwerke

Beck et al. [BBDW14] geben, basierend auf bisher veröffentlichten Publikationen, eine Übersicht über verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung dynamischer Graphen. Dabei gibt es grundsätzlich zwei Arten der Visualisierung der Zeitkomponente: Zeitliche Veränderungen lassen sich entweder mithilfe eines time-to-time mappings (durch eine Animation visualisiert), oder aber eines time-to-space mappings (also einer statischen Aneinanderreichung der Daten der verschiedenen Zeitabschnitte beziehungsweise einer Timeline), darstellen. Grundsätzlich ist es bei Aufgaben, welche sich über einen längeren Zeitraum erstrecken, sinnvoller eine statische Aneinanderreichung der Zeitabschnitte zu wählen. Bei Aufgaben, welche sich über kürzere Zeiträume erstrecken, ist eine Animation die bessere Wahl. In dieser Arbeit werden jedoch keine VR Anwendungen genannt.

2. Verwandte Arbeiten

Archambault et al. [APP11] Difference Map Readability for Dynamic Graphs zeigt die Veränderungen eines dynamischen Graphen anhand einer Difference Map auf. Diese zeigt die Veränderungen eines Graphen zwischen zwei Zeitschritten anhand einer einzigen Graphen-Visualisierung. Dabei werden Knoten und Kanten je nach Anwesenheit während eines Zeitabschnitts oder während beider Zeitabschnitte eingefärbt.

Die Möglichkeit, einen Graphen aus verschiedenen Blickwinkeln und mit unterschiedlicher Detailtiefe zu betrachten, wird in diversen Publikationen beleuchtet. Bruder et al. [BHF+18] befassten sich mit volumenbasierter Visualisierung von Graphen mit mehreren Tausend Zeitschritten. Es gibt verschiedene Ansichten, mit deren Hilfe der Graph in unterschiedlicher Detailtreue analysiert werden kann. So können einzelne, stark aggregierte Attribute wie die Anzahl der Knoten in einzelnen Zeitschritten, 2D Ansichten eines einzelnen Zeitschritts, oder auch einzelne Knoten für jeden Zeitabschnitt angezeigt werden. Burch et al. [BBC+21] visualisieren einen Graphen parallel in zwei verschiedenen Ansichten. Eine der Ansichten nutzt das time-to space-mapping, die andere das time-to-time mapping. Beide Ansichten sind miteinander verbunden, sodass die Selektion eines Knoten in einer Ansicht zu Burch2021 - Visual Analysis of Graph Algorithm Dynamics (Visualisierung eines dynamischen Graphen via time-to-space mapping und time-to-time mapping; beide views werden parallel dargestellt und sind miteinander verbunden. Die Selektion eines Knoten in einer Ansicht führt dazu, dass derselbe Knoten in der anderen Ansicht selektiert wird. Dies führt zu einer Übersicht-und-Detail Vorgehensweise: Das time-to-space mapping gibt eine Übersicht über die Daten, das time-to-time mapping zeigt eine detailliertere Ansicht. Federico et al. [FAM+11] nutzten drei verschiedene Ansichten, welche allesamt zum time-to-space mapping zählen: Das nebeneinander positionieren der einzelnen Zeitabschnitte des sozialen Netzwerks (engl. "juxtaposition"), das Visualisieren aller Zeitabschnitte in einer Visualisierung (mit Unterscheidung der einzelnen Zeitabschnitte anhand einer visuellen Variablen, in diesem Fall der Transparenz, engl. "superimposition"), und die Rotation der nebeneinander liegender Zeitabschnitte des sozialen Netzwerks (was zu einer Platzeinsparung in der Horizontalen führt, engl. "two-and-a-half-dimension"). Mithilfe einer Metapher, bei der ein Zeitabschnitt des sozialen Netzwerks auf einer Ebene abgebildet wird, kann zwischen den verschiedenen Ansichten gewechselt werden. Burch und Reinhardt [BR17] befassten sich mit der statische Darstellung dynamischer Graphen in einem bipartiten Layout, wobei die Granularität bezüglich der Zeit einstellbar ist. Das heißt der Benutzer kann sich auch hier wieder eine Übersicht über alle Zeitabschnitte des Graphen anzeigen lassen und bei Bedarf in bestimmte Zeitabschnitte "hineinscrollen", sodass ein bestimmter Zeitabschnitt in einer feineren Granularität unterhalb des ursprünglichen Graphen angezeigt wird.

Burch [Bur15] [Bur16] und Burch et al. [BBC+21] nutzten eine statische Darstellung eines dynamischen Graphen (das heißt ein time-to-space mapping): Mehrere Zeitabschnitte eines Graphen werden nebeneinander positioniert. Basierend auf der Datendichte werden unterschiedliche visuelle Metaphern für die Darstellung des Graphen des jeweiligen Zeitabschnitts vorgeschlagen. Bei einer niedrigen Dichte werden node-link Repräsentationen gewählt, bei einer höheren Datendichte Adjazenz-Matrizen, ein bipartites oder ein radiales Layout. Ebenso ist es möglich, einzelne Knoten des Graphen auszuwählen, welche dann farblich hervorgehoben und schließlich genauer untersucht werden können. Mehrere aufeinanderfolgende Graphen können bei Bedarf zu einem Graphen aggregiert werden. Es ist zudem möglich durch die Zeit zu scrollen", Informationen der Knoten und Kanten werden dabei aber bei Bedarf in einer separaten Ansicht angezeigt werden. Diese sind jedoch sehr weit von der eigentlichen Repräsentation entfernt.

Die bisher vorgestellten Arbeiten konzentrierten sich auf 2-dimensionale Darstellungen dynamischer Graphen. Eine dreidimensionale Repräsentation der Daten nutzen Groh et al. [GHW09]: Sie nutzten Röhren zur Visualisierung eines dynamischen sozialen Netzwerks. Die Zeit wird dabei entlang der Länge der Röhre abgelesen. Doch auch hier ist nur eine sehr begrenzte Anzahl an Attributen visualisierbar: Anhand der Farbe und des Durchmessers können beispielsweise die Attribute entlang der Röhre visualisiert werden.

2.1.2. Visualisierung dynamischer Ego-Netzwerke

Wu et al. [WPZ+16] analysieren und vergleichen dynamische Ego-Netzwerke mithilfe verschiedener Ansichten und der Möglichkeit, die Daten in unterschiedlicher Detailtiefe zu analysieren. Die Arbeit von Zhao et al. [ZGC+16] ähnelt der von Wu et al. [WPZ+16], jedoch visualisieren sie dynamische Ego-Netzwerke mithilfe einer Bahnliniennetz-Metapher.

He et al. [HZL+16] visualisierten Ego-Netzwerke mithilfe verschiedener Ansichten und unterschiedlicher Detailtiefe. Es ist aber nur eine sehr begrenzte Attributvisualisierung mithilfe der Knotenfarbe und -Größe möglich. Li et al. [LSM+17] erstellten eine Anwendung, welche ebenfalls über mehrere Ansichten und Detailtiefe verfügt, um dynamische, multivariate Ego-Netzwerke mit vielen Attributen zu visualisieren.

2.1.3. Visualisierung dynamischer Netzwerke und Ego-Netzwerke innerhalb einer Anwendung

Lu et al. [LZH+17] und Peng et al. [PTLZ18] kombinierten jeweils die Visualisierung dynamischer Netzwerke mit der Visualisierung dynamischer Ego-Netzwerke. Sie ermöglichen es, dynamische Netzwerke und dynamische Ego-Netzwerke mithilfe verschiedener Ansichten und unterschiedlicher einstellbarer Granularität zu analysieren. Eine begrenzte Anzahl an Attributen einzelner Knoten können in einer separaten Ansicht in Form einer Liste aufgelistet werden, ansonsten werden vor Allem stark aggregierte Attribute wie die Knotenzahl innerhalb eines Zeitabschnitts visualisiert.

2.2. Visualisierung von Netzwerken und Graphen in VR

Verschiedene Aspekte der Visualisierung von Netzwerken und Graphen ohne Zeitabhängigkeit wurden bereits in diversen Arbeiten behandelt. Drogemuller et al. [DCW+18] befassten sich mit Navigationstechniken bezüglich 3D Graphvisualisierungen in VR. Kwon et al. [KMLM16] beleuchteten verschiedene Layouts für Graphen in VR, sowie damit verbundenen Möglichkeiten der Interaktion. Kuznetsov et al. [KEK+21] visualisierten große, komplexe Graphen in VR.

Beltran und Geng [BG21] visualisierten ein Netzwerk in VR. Daten eines einzelnen Knotens können bei Bedarf als Fenster angezeigt werden.

Sorger et al. [SAK+21] beschrieben den Begriff des Egozentrismus, wobei der Benutzer das Ego-Netzwerk eines bestimmten Knotens aus der Position beziehungsweise Perspektive dieses Knotens betrachtet. Es wird untersucht, wie einfach direkte Nachbarn des Knotens aus dieser Position heraus identifiziert werden können.

2. Verwandte Arbeiten

2.3. Visualisierung zeitabhängiger Daten in VR

Liu et al. [LPED20] untersuchten die Platzierung von small multiples in VR anhand der "Regal-Metapher. Hier werden Anordnungsmöglichkeiten für einzelne Zeitabschnitte einer zeitabhängigen Datenvizualisierung untersucht.

Fouché et al. [FSFK22] erstellten verschiedene Visualisierungen für Timelines in VR und versuchten dabei den 3D Raum auszunutzen.

Sorger et al. [SWKA19] visualisierten ein dynamisches Netzwerk in Form einer Node-Link Repräsentation. Sie entwickelten Navigationsmöglichkeiten zum hinein- und herauszoomen und für das Aufrufen von Daten der Knoten und Kanten wie den Namen und das Gewicht. Die Informationen zu den Knoten und Kanten werden jedoch nicht an den Objekten selbst, sondern werden zur besseren Lesbarkeit in der Mitte des Sichtfeldes des Benutzers angezeigt.

2.4. Data Visceralization

Der Begriff der "Data Visceralization" ist ein durch Lee et al. [LBL+21] entstandener Begriff welcher darauf abzielt, Daten möglichst nah an der Realität anstatt auf eine abstrakte Art, wie beispielsweise mithilfe von Balkendiagrammen, darzustellen. Zum Beispiel bildeten sie echte Läufer eines Wettkampfs ab und positioniert sie unter Anderem auf Basis ihrer Laufzeiten auf einer Laufbahn in einem Stadion. Die Daten werden also nahe am Entstehungsort abgebildet und nicht, wie sonst bei diesem Beispiel üblich, anhand einer absteigenden Liste der Läufer. Unter der Verwendung einer VR Brille kann sich der Nutzer ein besseres und greifbares Bild von der ursprünglichen Situation, des Laufs, machen, und sich in der Szene frei bewegen, um die Daten aus verschiedenen Perspektiven (zum Beispiel aus einer der Läufer) wahrzunehmen.

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

Dieses Kapitel stellt die Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR auf Basis des "Visualization publications dataset"¹ vor. Hierfür wird zuerst der verwendete Datensatz erläutert. Obwohl die nachfolgenden Konzepte in Hinblick auf diesen speziellen Datensatz aufgestellt wurden, können diese dennoch auf andere Datensätze angewendet werden.

Danach wird die Zimmer-Metapher beschrieben auf der die gesamte Visualisierung aufbaut. Die verfügbaren Ansichten innerhalb der Visualisierung werden erklärt, sowie die Navigation beziehungsweise allgemeine Fortbewegung innerhalb der Visualisierung. Zuletzt folgen die Möglichkeiten der Datenvisualisierung.

Die zentralen Konzepte, welche hier in diesem Kapitel vorgestellt werden, wurden auch im Prototypen realisiert. Allerdings konnten aus Zeitgründen nicht gänzlich alle hier erwähnten Funktionen implementiert werden.

3.1. Verwendeter Datensatz

Das hier verwendete "Visualization Publications Dataset"¹ beinhaltet alle Paper, welche im Rahmen der IEEE VIS Konferenz zwischen den Jahren 1990 und 2021 veröffentlicht wurden. Dabei beinhaltet der Datensatz zu jedem Paper folgende Informationen:

- Die konkrete Konferenz in deren Rahmen dieses Paper veröffentlicht wurde,
- Jahr der Veröffentlichung,
- Titel,
- DOI,
- Link zum Paper,
- Erste Seite des Papers im Konferenzbericht,
- Letzte Seite des Papers im Konferenzbericht,
- Typ des Papers (Konferenzpaper, Journal Paper, Diverses),
- Abstract,
- Autoren,

¹<https://sites.google.com/site/vispubdata/home>

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

- Institutzugehörigkeit (jedoch meist nur für den ersten Autor verfügbar),
- Interne Referenzen zu anderen Papern in Form der DOI (jedoch nur zu solchen welche sich in diesem Datensatz befinden),
- Keywords,
- Zwei Zitationszahlen, je von einer anderen Quelle (Aminer, CrossRef),
- Zahl der Referenzen, d.h. wie oft dieses Paper andere Paper zitiert (ebenfalls via CrossRef),
- erhaltene Awards (BP = best paper, HM = best paper honorable, TT = test of time, BA = best application, BCS = best case study award).

3.2. Zimmer-Metapher

Die Zimmer-Metapher ist an das Konzept der small-multiples angelehnt, bei dem mehrere kleine Versionen desselben Datensatzes mit Hauptaugenmerk auf einen sich ändernden Aspekt nebeneinander platziert werden.

Ein Zimmer repräsentiert ein Jahr des Datensatzes (siehe Abb. 3.1). In jedem Raum befinden sich visuelle Repräsentationen der Autoren, welche in diesem Jahr mindestens ein Paper veröffentlicht haben. Je nachdem welche Ansicht und welche Linse ausgewählt wurde (siehe 3.3 und 3.5.1) werden zusätzlich visuelle Repräsentationen der Paper in den Räumen dargestellt in deren Jahren sie veröffentlicht wurden. Ein einzelner Autor wird als humanoide Form, ein einzelnes Paper als Tisch dargestellt.

Die einzelnen Zimmer sind so miteinander verbunden, dass der Benutzer von jedem Raum aus jeweils zum Raum des nächsten und zum Raum des vorherigen Jahres laufen kann. So soll der Benutzer das Gefühl haben, sich beispielsweise in Konferenz- oder Büroräumen zu befinden und, wie im realen Leben, anderen Personen bzw. in diesem Fall anderen Autoren zu begegnen.

3.3. Ansichten

Es gibt zwei Ansichten für die Betrachtung der Daten: Die Übersichts-Ansicht und die Ego-Ansicht. Die Übersichts-Ansicht dient der Übersicht über alle Jahre des Datensatzes. Dagegen dient die Ego-Ansicht der Darstellung des Ego-Netzwerks eines einzelnen Autoren.

3.3.1. Übersichts-Ansicht

Die Übersichts-Ansicht dient der Übersicht über alle verfügbaren Jahre: Jedes Jahr des Datensatzes wird als Zimmer dargestellt. Die Zimmer eines Jahrzehnts werden in einer Zeile positioniert, und die Zeilen werden absteigend von oben nach unten positioniert. Die Zeilen sind so rotiert, dass der Betrachter von oben in die Zimmer hineinschauen kann. Alle Autoren, welche mindestens ein Paper in diesem Jahr veröffentlicht haben, werden in den Zimmern dargestellt. Je nachdem welche Linse ausgewählt wurde (siehe Abschnitt 3.5.1) werden zusätzlich visuelle Repräsentationen der Paper in Form von Tischen platziert (siehe Abb. 3.2). In diesem Fall werden auch die Verbindungen zwischen

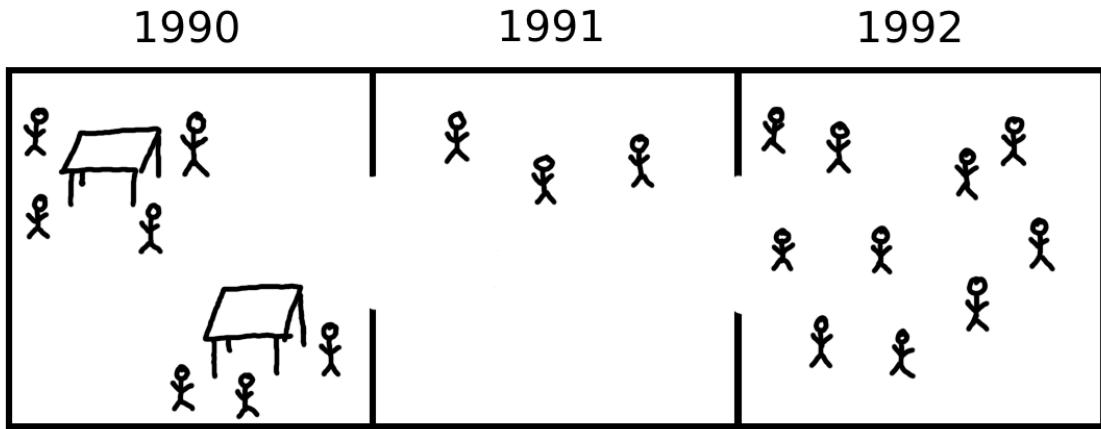


Abbildung 3.1.: Zimmer-Metapher: Drei Räume nebeneinander, jeder Raum repräsentiert ein Jahr des Datensatzes. Hat ein Autor mind. ein Paper in dem Jahr veröffentlicht, wird er in dem dazugehörigen Raum dargestellt. Ein Paper wird als Tisch repräsentiert. Je nach Linsenauswahl (siehe Abschnitt 3.5.1 zur Datenvisualisierung) werden auch die Paper visualisiert die in dem Jahr veröffentlicht wurden, und jeder Autor, der an einem Paper mitgearbeitet hat, steht an dessen Tisch.

den Autoren und den Papern als Kanten dargestellt: Hat ein Autor an einem Paper mitgearbeitet, befindet sich eine Kante zwischen ihm und dem Paper. Mit der Übersichts-Ansicht kann sich der Betrachter also einen Überblick über alle Jahre verschaffen, Räume bzw. Jahre mit ausgesprochen vielen oder wenigen Autoren und/oder Papern erkennen und einzelne Räume bzw. Jahre miteinander vergleichen.

3.3.2. Ego-Ansicht

Diese Ansicht zeigt das Ego-Netzwerk eines ausgewählten Autors: Jedes Zimmer entspricht hier einem Jahr, in welchem der Autor Paper veröffentlicht hat (siehe Abb. 3.3). Hat der Autor in einem Jahr keine Paper veröffentlicht befindet sich hier stattdessen eine Brücke, welche zwei bestehende Räume miteinander verbindet. Über diese kann sich der Benutzer zum nächsten Raum bewegen. Die Jahre, in denen der Autor keine Paper veröffentlicht hat, werden entlang der Brücke dargestellt.

Zur Orientierung steht an einer Wand jedes Zimmers der Name des ausgewählten Autors und die Jahreszahl. Je nach Auswahl der Linse (siehe Abschnitt 3.5.1) werden in jedem Zimmer sowohl die Autoren dargestellt mit denen der ausgewählte Autor in diesem Jahr zusammengearbeitet hat, als auch alle Paper an denen er mitgearbeitet hat.

3.4. Navigation

Alle Räume einer Ansicht (sowohl in der Übersichts-, als auch der Ego-Ansicht) befinden sich um 90° gedreht vor dem Benutzer, sodass dieser wie in einer Top-Down Ansicht von oben in die einzelnen Räume hineinschauen kann (siehe Abb. 3.4). Alle Räume können als Ganzes durch den

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

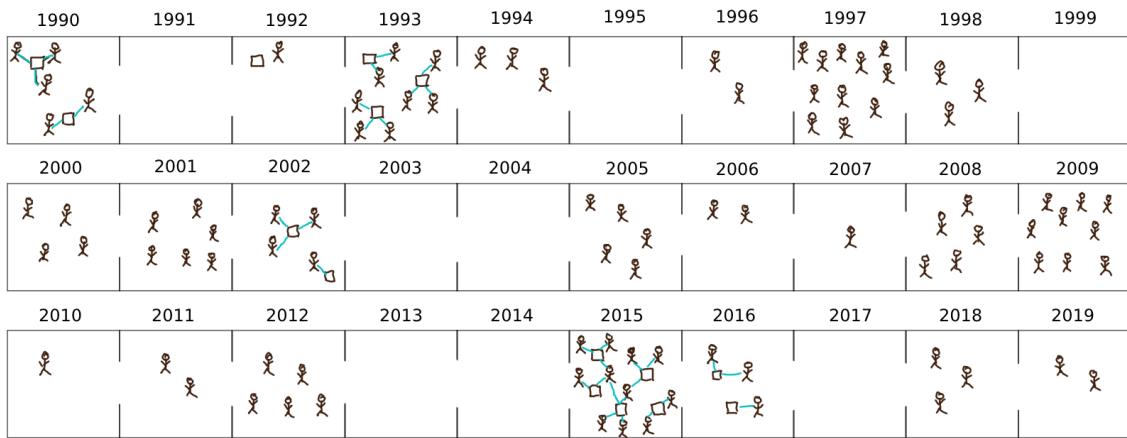


Abbildung 3.2.: Die Übersichts-Ansicht in der Top-Down Sicht: Jede Zeile entspricht einem Jahrzehnt. Die Zimmer sind mit den Jahreszahlen aufsteigen von links nach rechts angeordnet. Die Jahrzente sind von oben nach unten aufsteigen angeordnet. Manche Zimmer beinhalten nur Autoren, andere zusätzlich noch deren veröffentlichte Paper in dem jeweiligen Jahr und die Verbindungen dazwischen (letztere sind türkis eingefärbt). Der Benutzer kann sich so einen Überblick über alle Jahre des Datensatzes machen und beispielsweise Jahre mit besonders vielen Publikationen auf einen Blick sehen.

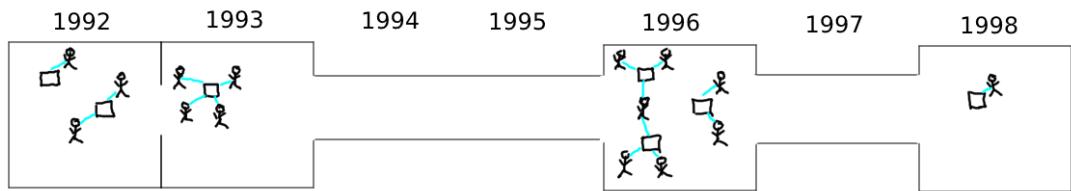


Abbildung 3.3.: Die Ego-Ansicht in der Top-Down Sicht: Jedes Zimmer entspricht einem Jahr, in dem der zuvor selektierte Autor Paper veröffentlicht hat. Die Autoren, mit denen er bei jedem Paper zusammengearbeitet hat, sind mit den Papern verbunden (hier mit türkisfarbenen Linien dargestellt). Die Brücken zwischen den Zimmern zeigen die Jahre, in denen er keine Paper veröffentlicht hat. Diese können überquert werden, um vom einen Zimmer zum nächsten zu gelangen.

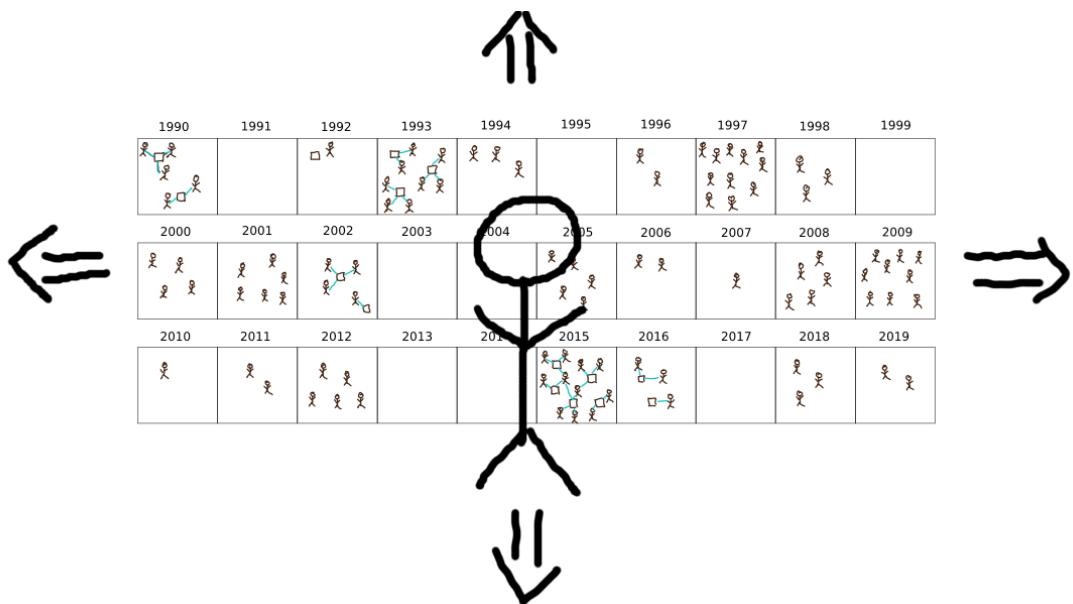


Abbildung 3.4.: Der Benutzer (hier in der Mitte eingezeichnet) befindet sich vor den Zimmern der Übersichts-Ansicht und kann diese, wie auf einer Ebene, vor sich nach links, nach rechts, nach oben und nach unten bewegen.

Benutzer wie auf einer Ebene vor ihm nach oben, nach unten, nach links und nach rechts bewegt werden. Ebenso können sie näher an den Benutzer heran gezogen oder weiter weg geschoben werden.

Durch Selektion einzelner Räume können diese genauer miteinander verglichen werden. Diese werden dann nebeneinander und übereinander (je nach Anzahl) positioniert, können aber auch frei vom Benutzer positioniert werden, um beispielsweise zwei bestimmte Räume direkt nebeneinander miteinander zu vergleichen (siehe Abb. 3.5).

Für den Benutzer ist es in beiden Ansichten möglich, direkt in einen Raum hinein zu springen und sich darin frei zu bewegen. Dabei befindet er sich auf Augenhöhe mit den Autoren. Durch die Verbindung zwischen den einzelnen Räumen kann er sich zudem von Raum zu Raum bewegen und mit den Autoren und Papern interagieren.

Zusätzlich gibt es in jedem Raum zwei Aussichtspunkte (siehe Abb. 3.6). Diese dienen der Übersicht über den gesamten Raum: Eine transparente Plattform befindet sich in der Mitte des Raums und schwebt über den Autoren. Eine Aussichtssäule befindet sich an der hinteren Wand. Der Benutzer befindet sich, wenn er an einem Aussichtspunkt steht, stets in derselben Höhe: Etwa vier Meter über den Köpfen der Autoren. Das gibt dem Benutzer die Möglichkeit, sehr nah am Geschehen zu sein und Informationen wie beispielsweise die Namen der Autoren und Paper lesen zu können, aber dennoch einen gewissen Überblick über den gesamten Raum zu haben.

Es ist möglich, zwischen der Übersichts- und der Ego-Ansicht zu wechseln: Von der Übersichts-Ansicht aus kann man einen Autor selektieren. Daraufhin verschwinden alle Räume der Übersichts-Ansicht und die Ego-Ansicht mit den Räumen des eben selektierten Autors erscheint vor dem Benutzer. Befindet sich der Benutzer in einem Raum ist es auch hier wiederum möglich einen

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

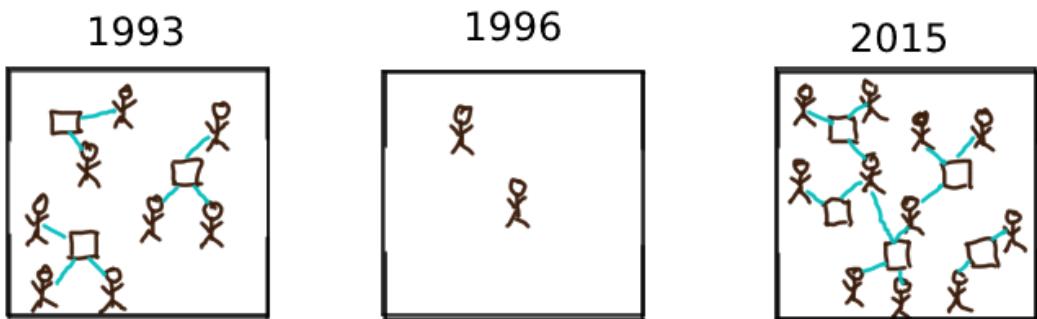


Abbildung 3.5.: Um einzelne Zimmer einer Ansicht miteinander zu vergleichen, werden diese in einer der Ansichten (entweder der Übersichts- oder der Ego-Ansicht) ausgewählt. Die ausgewählten Zimmer werden nebeneinander positioniert, können aber durch den Benutzer frei bewegt werden.

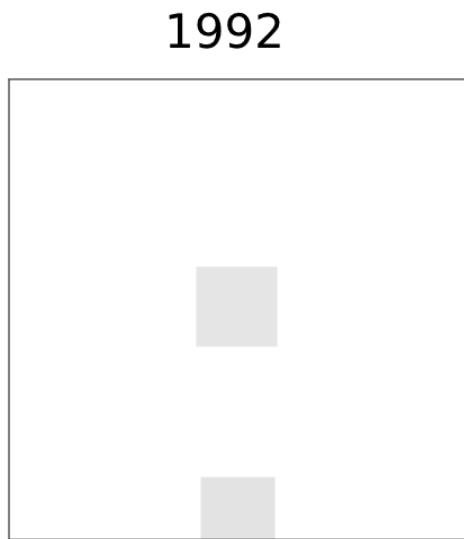


Abbildung 3.6.: Die Skizze zeigt ein Zimmer mit zwei Aussichtspunkten (hier als graue Rechtecke). Das obere Rechteck repräsentiert die mittlere Aussichtsplattform, welche in der Mitte des Zimmers über den Köpfen der Autoren positioniert und transparent ist. Das untere Rechteck stellt den Aussichtspunkt dar, welcher in gleicher Höhe wie die mittlere Plattform, jedoch direkt an der Wand positioniert wird. Der Benutzer kann auf sich auf beide Aussichtspunkte bewegen und ist dann in erhöhter Position, sodass er eine bessere Übersicht über das Zimmer erhält.

Autor zu selektieren. Dann gelangt man zur Ego-Ansicht des eben selektierten Autors, das heißt seine Räume werden wiederum so platziert, dass sie sich vor dem Benutzer befinden und er von oben hinein schauen kann. Es ist also möglich, direkt von einem Ego-Netzwerk eines Autors zum Ego-Netzwerk eines anderen Autors desselben Papers, oder aber auch eines anderen Papers an dem beide Autoren gemeinsam kollaboriert haben, zu wechseln. So können beispielsweise andere Arbeiten eines gerade neu entdeckten Autors gefunden werden.

Befindet sich der Benutzer in einem Raum oder auf einer Brücke, ist es mithilfe eines Menüs stets möglich wieder zur Top-Down Ansicht zu gelangen und eine Übersicht über alle Räume der jeweiligen Ansicht zu erhalten. Zusätzlich ist es auch möglich, direkt wieder zurück zur Übersichts-Ansicht zu wechseln, wobei dann die Ego-Ansicht verschwindet.

3.5. Datenvisualisierung

Die Daten zu den Autoren und Papern eines Raumes können für die Übersichts-Ansicht und auch die Ego-Ansicht aus zwei verschiedenen Perspektiven visualisiert werden: Entweder aus der Übersichts-Perspektive, oder aus der Ego-Perspektive. Bei der Übersichts-Perspektive nimmt der Benutzer eine eher distanziertere Position bezüglich eines Raumes ein. Dies kann entweder der Fall sein wenn der Benutzer sich außerhalb der Räume befindet und auf einen Raum von oben herab blickt, oder wenn er sich an einer der Aussichtspunkte eines Raumes befindet. Bei der Ego-Perspektive befindet sich der Benutzer innerhalb eines Raums und begegnet den einzelnen Autoren und Papern.

3.5.1. Übersichts-Perspektive: Benutzer als Außenstehender

Mithilfe eines Menüs kann ein Attribut, wie beispielsweise die Institutzugehörigkeit oder die Zitationszahlen der Autoren, durch Einfärbung der Autoren oder Paper visualisiert werden. So kann der Benutzer beispielsweise auf einen Blick erkennen, welche Autoren welchem Institut angehören und unter Umständen Muster innerhalb des betrachteten Raums erkennen.

Zusätzlich gibt es noch die Möglichkeit, aus zwei sogenannten "Linsen" für die Räume zu wählen. Eine Linse meint hierbei eine bestimmte Art der Datenvisualisierung eines Raums, das heißt sie erlaubt einen ganz bestimmten Blick auf die Daten. Es gibt zwei Linsen: Die Autoren-Linse und die Paper-Linse.

Bei der Autoren-Linse werden alle Autoren, die in einem Jahr Paper veröffentlicht haben, in dem dazugehörigen Raum visualisiert. Die Positionierung der Autoren geschieht im Falle der Übersichts-Ansicht zufällig und folgt keiner definierten Struktur, ähnlich wie es bei einem echten Zusammenkommen verschiedener Autoren der Fall wäre (siehe Abb. 3.7, Mitte). In der Ego-Ansicht ist es zudem möglich, alle Autoren eines Raums relativ zum Autor des Ego-Netzwerks zu positionieren. Dabei befindet sich der Autor des Ego-Netzwerks in der Mitte des Raums, und alle anderen Autoren werden um ihn herum platziert. Die Abstände zwischen dem Autor in der Mitte und den anderen um ihn herum ist hierbei abhängig vom Wert des durch den Benutzer ausgewählten Attributs: Zum Beispiel werden die Autoren, welche mehr gemeinsame Paper mit dem Autor in der Mitte in diesem Jahr veröffentlicht haben, näher zu ihm positioniert, und solche mit weniger gemeinsamen Publikationen weiter entfernt (siehe Abb. 3.7, Rechts).

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

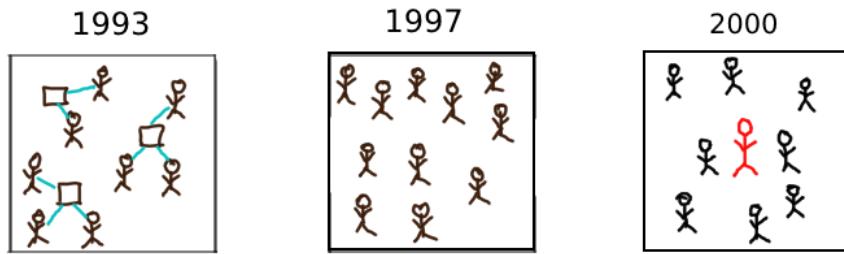


Abbildung 3.7.: Links: Eine Skizze eines Zimmers, in dem die Paper-Linse angewendet wurde. Die Paper sind hier dargestellt und sind mit den Autoren verbunden, die an diesen gearbeitet haben. Mitte: Eine Skizze der randomisierten Positionierung der Autoren in einem Zimmer. Ähnlich wie in der Realität gibt es keine bestimmte Anordnung. Rechts: Eine Skizze eines Zimmers der Ego-Ansicht, in dem die Autoren-Linse angewendet wurde. Der Autor, dessen Ego-Netzwerk dargestellt wird, wir hier in rot dargestellt und befindet sich in der Mitte des Raums. Alle anderen Autoren stehen in einem bestimmten Abstand zu ihm, abhängig von einem zuvor ausgewählten Attribut: Je kleiner der Abstand, desto beispielsweise mehr Paper haben beide gemeinsam veröffentlicht. Je größer der Abstand, desto weniger Paper haben sie gemeinsam veröffentlicht.

Die Paper-Linse hingegen zeigt die in diesem Jahr veröffentlichten Paper und die Autoren, die an diesen mitgearbeitet haben (siehe Abb. 3.7, Links). Im Falle der Ego-Ansicht werden jedoch nur die Paper gezeigt, an denen der Autor mitgearbeitet hat dessen Ego-Netzwerks gerade dargestellt wird. Ein Paper wird durch einen Tisch dargestellt, und jeder Autor der an einem Paper mitgewirkt hat steht an dessen Tisch. Hat ein Autor an mehreren Papern innerhalb eines Jahres mitgewirkt, wird er mit gleichem Abstand zu jedem dieser Paper positioniert. Um die Zugehörigkeit zwischen Papern und den an ihnen mitgewirkten Autoren zu verdeutlichen wird zwischen jedem Autor, der an einem Paper mitgewirkt hat, und dem Paper eine Kante visualisiert.

3.5.2. Ego-Perspektive: Benutzer als Teil des Geschehens

In der Ego-Perspektive werden Daten der Autoren, Paper und Verbindungen zwischen ihnen direkt an den Objekten beziehungsweise in ihrer unmittelbaren Umgebung oder um den Benutzer selbst visualisiert.

Daten der Autoren, wie beispielsweise der Name, die Institutionszugehörigkeit oder die Anzahl der in diesem Jahr veröffentlichten Paper werden um den Autor herum visualisiert (siehe Abb. 3.8). Dabei wird nur der Name stets angezeigt, weiterführende Informationen wie die Zahl der Veröffentlichungen werden nur angezeigt wenn der Benutzer sich nah genug bei ihm befindet und der Autor sich in seiner direkten Blickrichtung befindet. Detailiertere und komplexere Informationen, wie beispielsweise Diagramme zur Visualisierung der Anzahl seiner Publikationen über mehrere Jahre, werden erst nach direkter Interaktion wie beispielsweise Selektion durch den Benutzer dargestellt, um visual clutter zu vermeiden.

Daniel Weiskopf

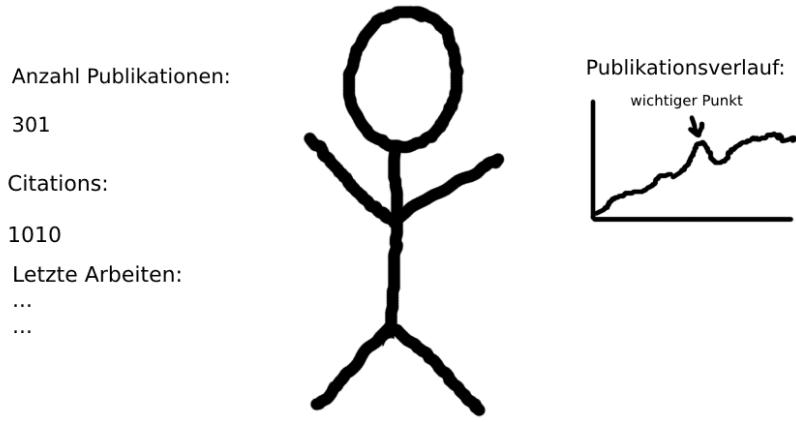


Abbildung 3.8.: Eine Skizze eines Autors: Daten wie der Name des Autors werden stets angezeigt. Einfache Daten zu ihm, wie beispielsweise die Zahl der Veröffentlichungen, werden nur angezeigt, wenn der Benutzer sich nah genug bei ihm befindet und der Autor sich in seiner direkten Blickrichtung befindet. Komplexere Informationen wie Diagramme werden erst nach einer zusätzlichen Interaktion mit dem Autor angezeigt.

Die Visualisierung der Daten der Paper folgt einem ähnlichen Muster: Der Name eines Papers wird stets über dem Tisch, der es repräsentiert, angezeigt. Einfache Daten, wie Awards, werden erst angezeigt wenn der Benutzer nahe genug am Tisch steht und sich dieser in seiner direkten Blickrichtung befindet. Weiterführende Informationen, wie beispielsweise der Abstract, werden erst nach direkter Interaktion durch den Benutzer angezeigt (siehe Abb. 3.9).

Daten bezüglich der Verbindungen zwischen Autoren oder eines Autors und eines Papers können an der gemeinsamen Kante oder im Bereich zwischen ihnen visualisiert werden (siehe Abb. 3.10). Hierbei ist es davon abhängig, welche aktuelle Darstellung beziehungsweise Linse ausgewählt wurde, oder ob es sich um Daten handelt welche sich auf die Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Autoren befindet, da diese sich unter Umständen weiter entfernt voneinander im Raum befinden. Möchte der Benutzer Informationen bezüglich zweier Autoren erhalten, muss dieser zuvor die Autoren selektieren. Daraufhin werden die selektierten Autoren dicht beieinander im Raum gestellt, und alle anderen stehen abseits davon und werden weniger intensiv dargestellt (beispielsweise ausgegraut). Bewegt sich der Benutzer zum Beispiel in diesen Bereich zwischen zwei Autoren ist es möglich, beispielsweise einer Timeline gemeinsamer Arbeiten zwischen diesen beiden Autoren zu folgen (siehe Abb. 3.11).

Werden diese Daten jedoch komplexer, sei es weil sie längere Texte umfassen oder aber umfangreicher sind, werden diese um den Benutzer herum platziert und können auch bearbeitet werden, beispielsweise durch Neupositionierung der Daten-Visualisierungen, Filterung, Selektion bestimmter Bereiche für eine Detailansicht, oder um Vergleiche zwischen verschiedenen Daten

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

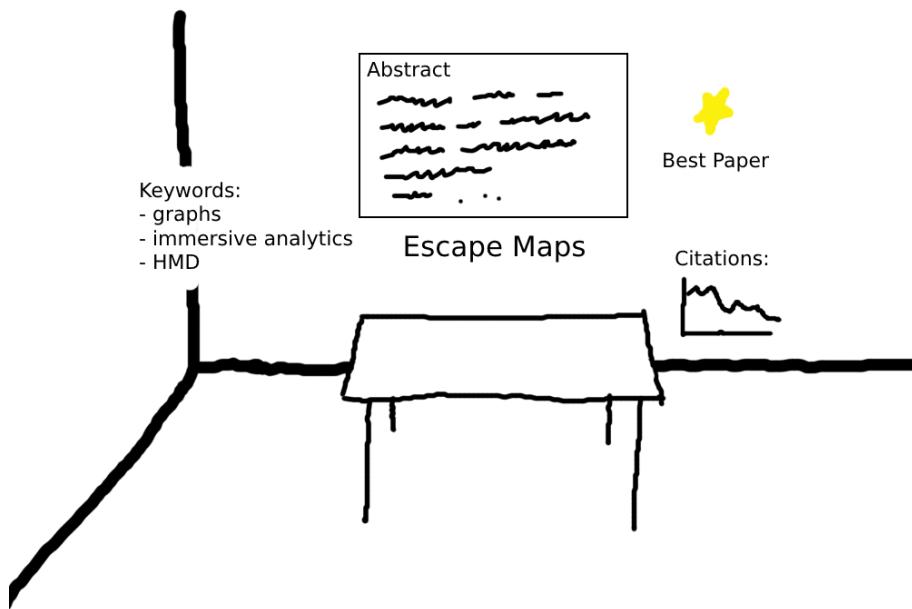


Abbildung 3.9.: Eine Skizze eines Tisches, welcher ein Paper in einem Raum repräsentiert. Daten wie der Titel des Papers, das Abstract, verliehene Awards, Diagramme wie beispielsweise die Entwicklung der Zitierungen des Papers über die Jahre werden um den Tisch herum platziert. Die Anzeige der Daten ist abhängig von der Distanz zwischen dem Betrachter und dem Tisch: Einfache Daten wie der Titel werden stets angezeigt. Das Abstract und Diagramme werden erst gezeigt, wenn der Benutzer nah genug am Tisch steht, der Tisch sich in seiner direkten Blickrichtung befindet und er mit dem Tisch interagiert.

ziehen oder Korrelationen finden zu können. Zudem ist es möglich, interessante Punkte in den Daten markieren zu können. Alles in Allem heißt das, dass der gesamte Bereich um den Benutzer herum von ihm frei gestaltet und zur Analyse der Daten verwendet werden kann (siehe Abb. 3.12).

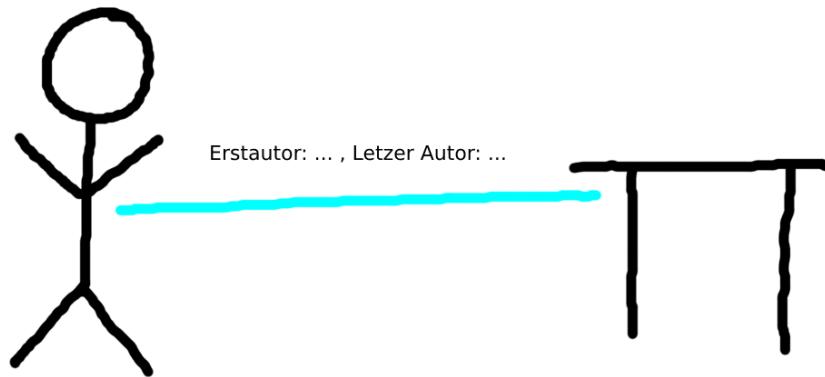


Abbildung 3.10.: Die Skizze zeigt einen Autor, ein Paper (repräsentiert durch einen Tisch) und die Kante zwischen ihnen (hier türkis) an. Über der Kante sind Informationen bezüglich der Verbindung zwischen ihnen positioniert.

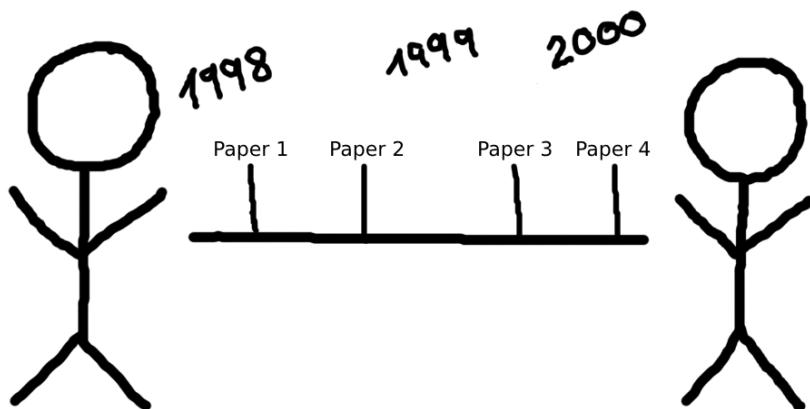


Abbildung 3.11.: Diese Skizze zeigt die Visualisierung einer Timeline zwischen zwei Autoren auf: Entlang der Timeline werden die Paper zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung aufgeführt.

3. Konzepte zur Visualisierung eines dynamischen Netzwerks in VR

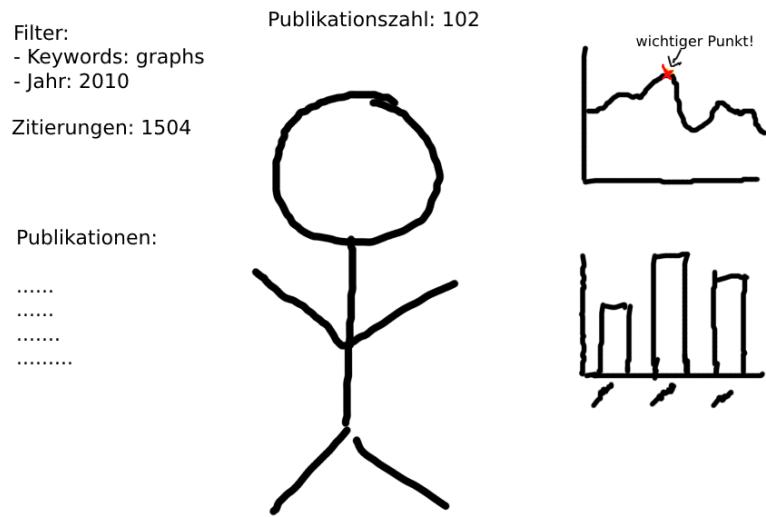


Abbildung 3.12.: Eine Skizze, welche die Visualisierungen komplexerer Daten von Autoren und/oder Papern um den Benutzer herum positioniert zeigt. Der Benutzer (hier in der Mitte platziert) kann die benötigten Daten von den Autoren auswählen, frei um sich herum verschieben und filtern. Wichtige Punkte in den Daten können ebenfalls vom Benutzer markiert werden.

4. Implementierung

Hier wird die Implementierung eines Prototypen beschrieben. Dieser Prototyp beinhaltet die Visualisierung der Zimmer in Übersichts- und Ego-Ansicht, sowie die Paper-Linse und eine begrenzte Visualisierung der Daten der Autoren und Paper. Außerdem wurden diverse Navigationsmöglichkeiten implementiert die es dem Benutzer erlauben, die Daten aus verschiedenen Perspektiven zu erkunden.

Für den Prototypen wurde sowohl für die Übersichts-, als auch die Ego-Ansicht ausschließlich die Paper-Linse (siehe Abschnitt 3.5.1) verwendet, da diese die einzige war welche während der Implementierungsphase fertiggestellt werden konnte und nicht zu massivem visual clutter geführt hat. Die erste Implementierungs-Iteration beinhaltete die randomisierte Platzierung der Autoren, welche aber ausschließlich in der Übersichts-Ansicht verwendet werden sollte. Dabei wurden Kanten zwischen jeweils zwei Autoren visualisiert, wenn diese innerhalb eines Jahres mindestens ein Paper gemeinsam veröffentlicht haben. Die sehr komplexe Thematik der Positionierung der Autoren innerhalb eines begrenzten Bereichs (in diesem Fall einem Raum), welche sich im Laufe der Arbeit herauskristallisierte, konnte im Rahmen der Arbeit aber leider nicht weiter erörtert werden.

4.1. Verwendete Technologien

HP Reverb G1 Als VR Brille wurde die HP Reverb G1 verwendet. Diese VR Brille hat den Vorteil, dass sie keine Basisstationen benötigt, welche erst im Raum aufgehängt werden müssen. Das Tracking der Brille wird mit den eingebauten Kameras durchgeführt. Zudem verfügt sie über integrierte Kopfhörer und ein Mikrofon. Töne, wie beispielsweise für auditives Feedback, oder Sprachkommandos können also in Anwendungen verwendet werden.

Unity Game Engine Die Unity Game Engine ist eine weit verbreitete Game Engine welche es unter Anderem ermöglicht, schnell VR Anwendungen zu implementieren. Die integrierte Physik der Engine ermöglicht es, physikalische Kräfte auf Objekte zu wirken (siehe Abschnitt 4.5).

MRTK - Mixed Reality Toolkit Das Mixed Reality Toolkit von Microsoft ermöglicht die Entwicklung von Anwendungen innerhalb der Unity Game Engine für alle Microsoft Mixed Reality Headsets. Neben grundlegenden Features wie Kamera- und Controller-Tracking, Controller-Input und Teleportation bietet das MRTK auch Skripte zur Objektmanipulation, Objektverfolgung und der Anordnung von Objektsammlungen.

4.2. Parsen des Datensatzes

Da der verwendete Datensatz keine direkte Aufschlüsselung nach Autoren bietet (d.h. es stehen nur Informationen zu jedem Paper zur Verfügung, nicht jedoch zu jedem Autor), musste erst ein Skript zum parsen der Informationen der Paper verfasst werden. Der ursprüngliche Datensatz wurde dabei von 3504 auf 515 Papern reduziert, um die Konzepte zunächst in einem kleineren Umfang zu testen. Es wurden drei eigene csv-Dateien geschaffen:

- Papers.csv: 515 Paper der ursprünglich 3504 Paper - diese wurden randomisiert ausgewählt, gemäß der Verteilung der Paper über alle Jahre.
- Authors.csv: Die ersten beiden Spalten sind der Name des Autors und das Veröffentlichungsjahr - diese dienen gemeinsam als Identifikations-Schlüssel. Jede weitere Spalte kann je für ein eigenes Attribut stehen. Bisher existiert nur die Anzahl der Veröffentlichungen jedes Autors pro Jahr.
- Collaborations.csv: Informationen zu den Kollaborationen zwischen jeweils zwei Autoren. Die ersten beiden Werte pro Zeile beinhalten je einen Autorennamen einer Kollaboration an einem Paper, der dritte Wert ist das Veröffentlichungsjahr. Diese drei Werte dienen als Identifikations-Schlüssel. Jede weitere Spalte ist ein Attribut dieser Kollaboration (beispielsweise die Anzahl gemeinsamer Veröffentlichungen in diesem Jahr).

4.3. Ansichten

Jede der beiden Ansichten (Übersichts- und Ego-Ansicht) hat, wie es in Unity üblich ist, ein allgemeines GameObject als Basis. Zu diesem GameObject werden die einzelnen Zimmer der jeweiligen Ansicht als Child-GameObjects hinzugefügt. Das MRTK bietet Klassen für Objektsammlungen an, welche es erlauben Objekte zum Beispiel auf einer Ebene oder spherisch vor dem Benutzer platzieren zu können. Für die Anordnung der Zimmer beider Ansichten wurde eine ebenenbasierte Anordnung verwendet, allerdings mit jeweils unterschiedlichen Einstellungen.

Die Ausgangsposition beider Basis-GameObjects befindet sich vor dem Benutzer, sodass dieser einen bequemen Blick auf alle einzelnen Zimmer hat, das heißt sie sind um 90° gedreht sodass der Benutzer von oben hineinschauen kann.

Hinter jedem Basis-GameObject befindet sich ein kariertter Boden. Dieser ist stets unbeweglich, wird aber immer hinter- bzw. unter den Boden aller Zimmer positioniert. Der karierte Boden wurde gewählt, damit bei Bewegung eines Basis-GameObjects der Benutzer nicht das Gefühl bekommt, dass er sich selbst bewegt - motion sickness soll damit also vorgebeugt werden.

Damit sich der Benutzer besser orientieren kann wenn er sich innerhalb eines einzelnen Zimmers befindet, befinden sich Schilder oberhalb der Durchgänge, auf denen entweder „Next Year“ oder „Previous Year“ steht.

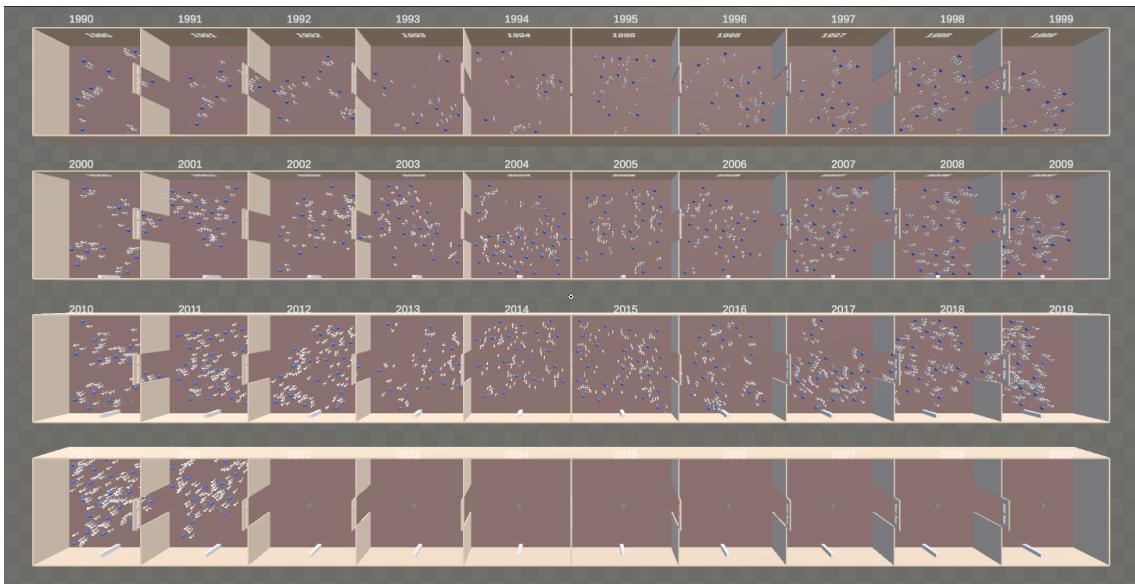


Abbildung 4.1.: Die Übersichts-Ansicht aus der Top-Down Sicht: Die Zimmer sind mit den Jahreszahlen von links nach rechts aufsteigend in Zeilen angeordnet. Jede Zeile repräsentiert ein Jahrzehnt.

4.3.1. Übersichts-Ansicht

Mithilfe des MRTK werden die Zimmer in Zeilen untereinander positioniert. Dabei repräsentiert jede Zeile ein Jahrzehnt (siehe Abb. 4.1). In jeder Zeile werden die Zimmer mit den Jahreszahlen von links nach rechts aufsteigend und direkt aneinander anschließend positioniert, das heißt der Benutzer kann innerhalb eines Jahrzehnts von Jahr zu Jahr gehen. Außerhalb jedes Zimmers ist die Jahreszahl des Zimmers so angebracht, dass sie in der Top-Down Sicht zu erkennen ist. An einer Zimmerwand jedes Zimmers wird die Jahreszahl des jeweiligen Zimmers visualisiert.

4.3.2. Ego-Ansicht

Die Zimmer in der Ego-Ansicht werden mithilfe des MRTK horizontal von links nach rechts auf einer Linie angeordnet (siehe Abb. 4.2). Brücken stellen dabei die Jahre dar in denen der ausgewählte Autor keine Paper veröffentlicht hat. Außerhalb jedes Zimmers ist die Jahreszahl des Zimmers so angebracht, dass sie in der Top-Down Sicht zu erkennen ist. An einer Zimmerwand in jedem Zimmer steht der Name des Autors zu dem diese Zimmer gehören, sowie die jeweilige Jahreszahl (siehe Abb. 4.3).

4.4. Autor-/Paper-Repräsentationen und Datenvisualisierung

Die Autoren in den einzelnen Zimmern (sowohl in der Übersichts-, als auch der Ego-Ansicht) werden als menschenähnliche Figuren und Paper als blaue Sphären dargestellt (siehe Abb. 4.4). Die Kanten zwischen den Autoren und den Papern sind türkise Zylinder.

4. Implementierung

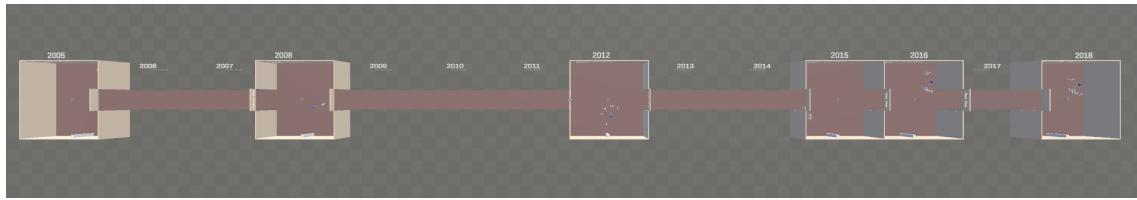


Abbildung 4.2.: Die Ego-Ansicht eines Autors in der Top-Down Sicht: Die Zimmer sind mit den Jahreszahlen horizontal von links nach rechts aufsteigend angeordnet. Jahre, in denen keine Paper des Autoren publiziert wurden, werden als Brücken dargestellt, entlang derer, ähnlich wie bei den Zimmern, die zugehörigen Jahreszahlen angebracht wurden.



Abbildung 4.3.: Die Innenwand eines Zimmers in der Ego-Ansicht: An einer Wand jedes Zimmers stehen der Name des selektierten Autors und die Jahreszahl des jeweiligen Zimmers.

Das MRTK bietet eine Tooltip Funktion an, welche es erlaubt kurzen Text direkt an ein Objekt anzuheften. Der Text befindet sich dabei auf einer farbigen Ebene, welche sich stets dem Benutzer zuwendet. Zusätzlich ist es möglich, diese Tooltips mithilfe einer Linie mit bestimmten Teilen eines Objekts zu verknüpfen. Diese Tooltips wurden genutzt, um die Namen der Autoren und der Paper oberhalb des jeweiligen GameObjects zu positionieren. Im Falle des Autors verbindet eine gerade Linie den Tooltip mit dessen Kopf. Dies soll es dem Betrachter leichter machen die einzelnen Namen mit dem richtigen Autor zu verknüpfen.

Zusätzlich werden oberhalb des Paper-Titels die Awards des Papers als Sterne visualisiert. Die Anzahl der Sterne entspricht der Anzahl der Awards.

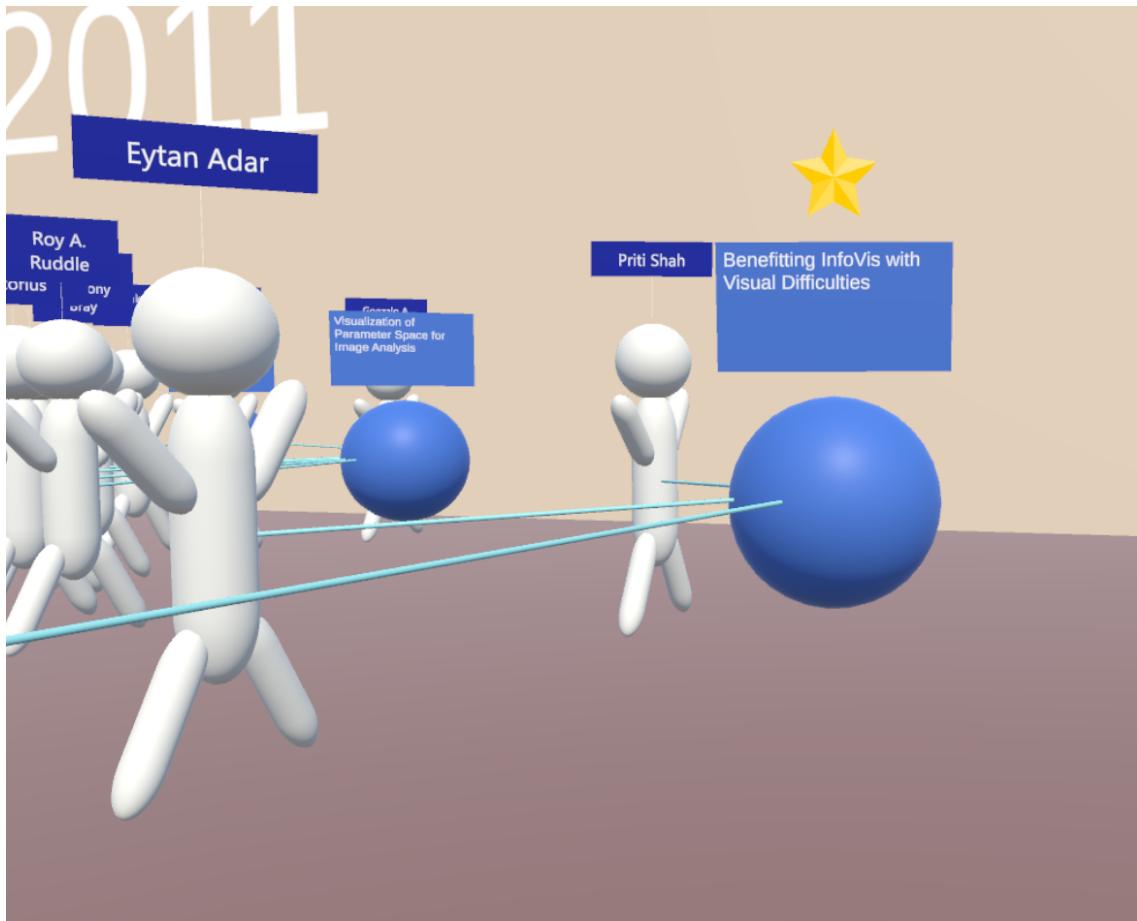


Abbildung 4.4.: Die blaue Sphäre stellt ein Paper dar. Darüber befinden sich der Name des Papers, sowie ein Stern, der ein Award repräsentiert den das Paper erhalten hat. Die türkisfarbenen Verbindungen zwischen dem Paper und den Autoren zeigen, dass diese Autoren an diesem Paper mitgearbeitet haben.

4.5. Paper-Linse

Für die Implementierung der Paper-Linse werden die Paper randomisiert platziert. Die Autoren werden erst randomisiert im Raum platziert, bewegen sich aber dann zu den Papern hin an denen sie mitgearbeitet haben. Gleichzeitig drückt eine Kraft sie von den Papern weg, sodass sie einen Abstand von 4 Metern von den Papern einhalten. Hierfür wird Unitys eigene Physik verwendet (siehe Abb. 4.5). Ist ein Autor an mehreren Papern beteiligt, wird er mit gleichen Abstand zwischen diesen Papern positioniert. Diese Positionierung der Autoren führt dazu, dass Autoren, welche nur an einem Paper gearbeitet haben, sich kreisförmig um die Paper herum platzieren (siehe Abb. 4.6). Gerade in der Top-Down Sicht ist dies gut zu erkennen. So ergeben sich Strukturen, die sich optisch vom Betrachter leicht in Gruppen einteilen lassen.

Die Kanten werden jeweils in einer festen Höhe platziert und dann so rotiert, dass sich ein Ende der Kante an der Position des Autors und ein Ende an der Position des Papers befindet (siehe Abb. 4.4).

4. Implementierung

```
//Move the humanoids/authors to or from the papers away, so that a fixed distance defined in humanoidPaperDistance between them is achieved.
foreach (Paper paper in paperScripts)
{
    GameObject paperGO = paper.gameObject;

    paperGO.transform.localPosition = new Vector3(paperGO.transform.localPosition.x, paperHeight, paperGO.transform.localPosition.z);

    foreach (string author in paper.Authors)
    {
        if (!author.Equals(selectedAuthor))
        {
            GameObject authorGO = authorsAndPapersGameObjects[author];
            Vector3 direction = (paperGO.transform.localPosition - authorGO.transform.localPosition).normalized;
            direction = new Vector3(direction.x, 0.0f, direction.z); // Prevent the humanoids of moving up or down.
            float distance = Vector3.Distance(paperGO.transform.localPosition, authorGO.transform.localPosition);
            Rigidbody authorRB = authorGO.GetComponent<Rigidbody>();

            authorRB.AddRelativeForce(distance * direction, ForceMode.Acceleration);
            authorRB.AddRelativeForce(humanoidPaperDistance * -direction, ForceMode.Acceleration);
        }
    }
}
```

Abbildung 4.5.: Der Programmcode für die Positionierung der Autoren relativ zu den Papern an denen sie innerhalb eines Jahres gearbeitet haben: Auf alle Autoren eines Papers werden zwei physikalische Kräfte gewirkt: Die eine drückt die Autoren zum Paper hin, die andere drückt sie vom Paper weg, sodass immer ein Abstand von 4 Metern zwischen einem Paper und einem Autor gewahrt wird.

4.6. Navigation

Die Räume der Übersichts- und Ego-Ansicht lassen sich als Ganzes nach oben, nach unten, nach links und nach rechts mit dem Joystick des rechten Controllers bewegen. Bewegt man also den Joystick nach oben, schiebt man die Räume somit nach oben. Schiebt man den Joystick nach links, schiebt man die Räume nach links, usw. Seitlich an der Innenseite jedes Controllers befindet sich jeweils ein Knopf. Mit diesem Knopf am rechten Controller kann man alle Räume zu sich herziehen, mit dem gleichen Knopf am linken Controller kann man die Räume wiederum von sich wegschieben.

Möchte man in einen Raum hineinspringen, so muss man mit einem der Controller auf einen Raum zeigen und den Trigger-Knopf des Controllers betätigen. Das MRTK visualisiert einen Strahl, der aus jedem der Controller hinauszeigt. Dieser dient der Orientierung beim Zeigen auf Objekte. Trifft dieser Strahl auf ein Objekt, so kann man mit diesem interagieren. Wurde also eines der Zimmer selektiert, werden alle Räume so rotiert und bewegt, dass sich der Benutzer auf der mittleren Plattform des ausgewählten Zimmers befindet (siehe Abb. 4.7 und Abb. 4.8). Die Position des Benutzers wird aus Gründen des Trackings während der Laufzeit des Programms zu keiner Zeit durch Programmcode manipuliert.

Von dieser Plattform ist es möglich, einen Überblick über den gesamten Raum und aller Paper und Autoren zu erhalten. Sie selbst ist transparent, um auch Objekte sehen zu können welche sich unterhalb von ihr befinden. Neben der sich in der Mitte des Zimmers befindenden Plattform gibt es noch einen weiteren Aussichtspunkt, der sich in Form einer Säule an einer Wand des Zimmers befindet (siehe Abb. 4.9 und Abb. 4.10).

Der Benutzer kann sich mithilfe von Teleportation von der mittleren Plattform auf den Boden, sowie sich frei im Raum bewegen. Dazu schiebt er den Joystick des linken Controllers nach vorne, zeigt in die Richtung in die teleportiert werden soll und neigt seine Hand, um die Teleportationsdistanz zu definieren (siehe Abb. 4.11). Um den Teleport abzuschließen lässt er den Joystick los. Daraufhin

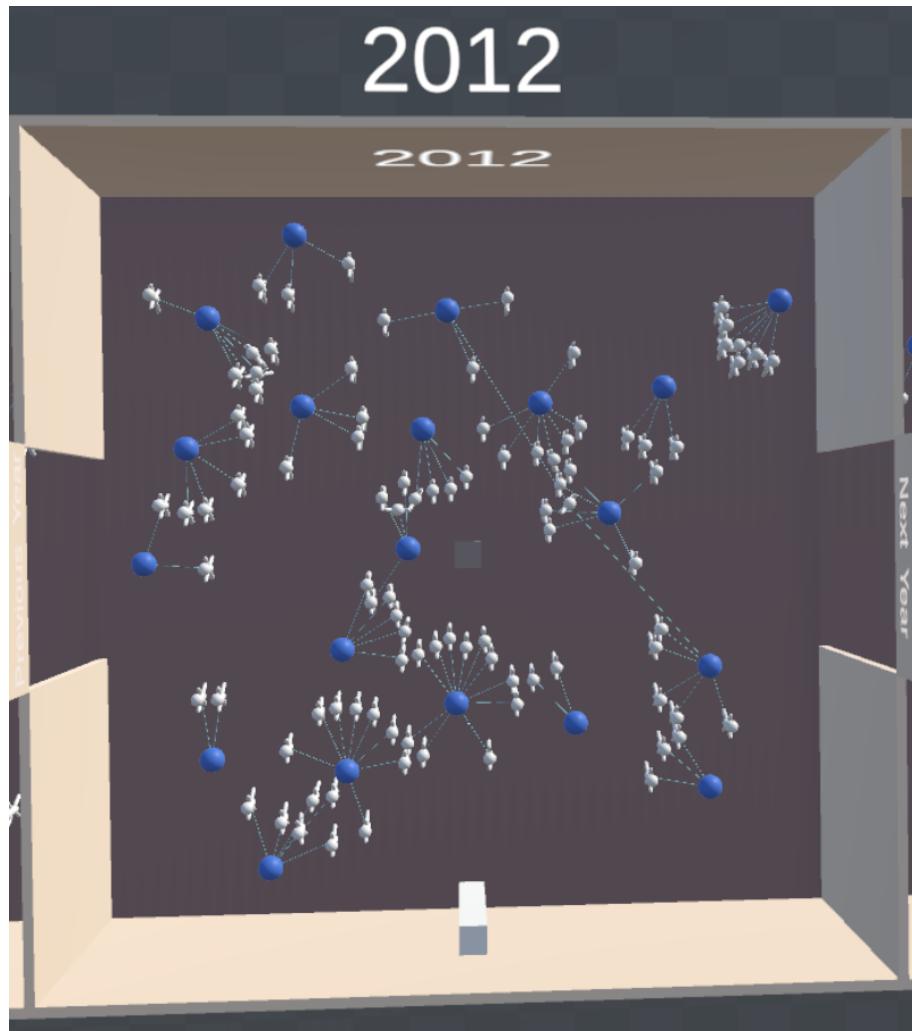


Abbildung 4.6.: Ein Zimmer aus der Übersichts-Ansicht, nachdem der Benutzer alle Zimmer der Übersichts-Ansicht näher zu sich herangezogen hat: Die blauen Sphären sind die Paper, die im Jahr 2012 veröffentlicht wurden, die weißen Humanoiden sind die Autoren, die an diesen gearbeitet haben. Hat ein Autor an einem Paper mitgewirkt, so wird eine türkis-farbene Verbindung zwischen ihnen dargestellt. Durch die Kräfte, die sich so auf die Autoren wirken, dass sie an die Paper herangeschoben und gleichzeitig mit einer festen Distanz zu ihnen gehalten werden, entstehen kreisförmige Muster um die Paper herum.

4. Implementierung

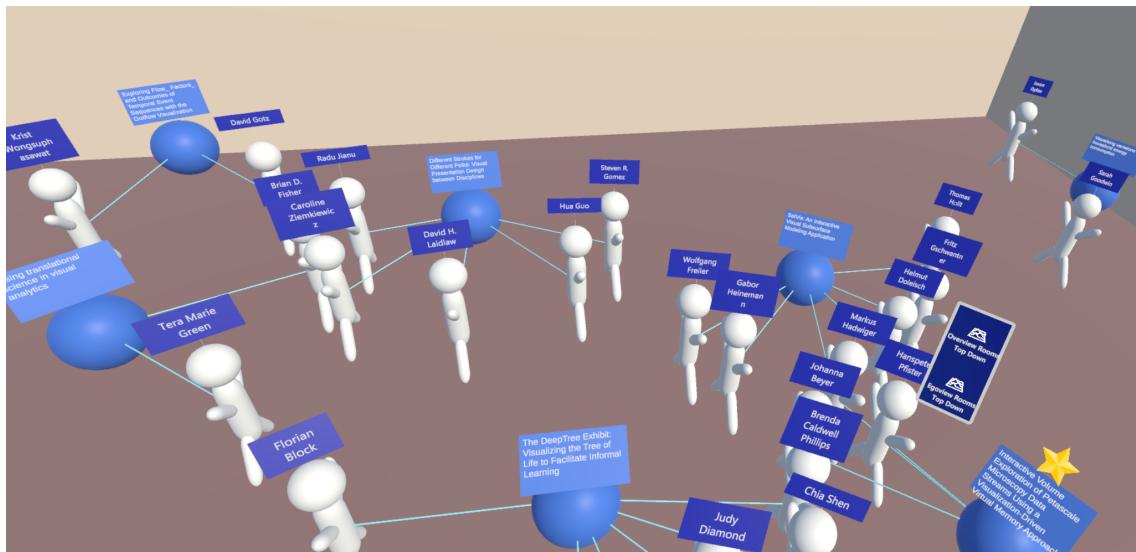


Abbildung 4.7.: Blick von der mittleren Plattform: Der Benutzer steht auf der mittleren Plattform und hat eine gute Übersicht über alle Autoren, Paper und den Verbindungen zwischen ihnen. Rechts im Bild schwebt das Nähe-Menü.

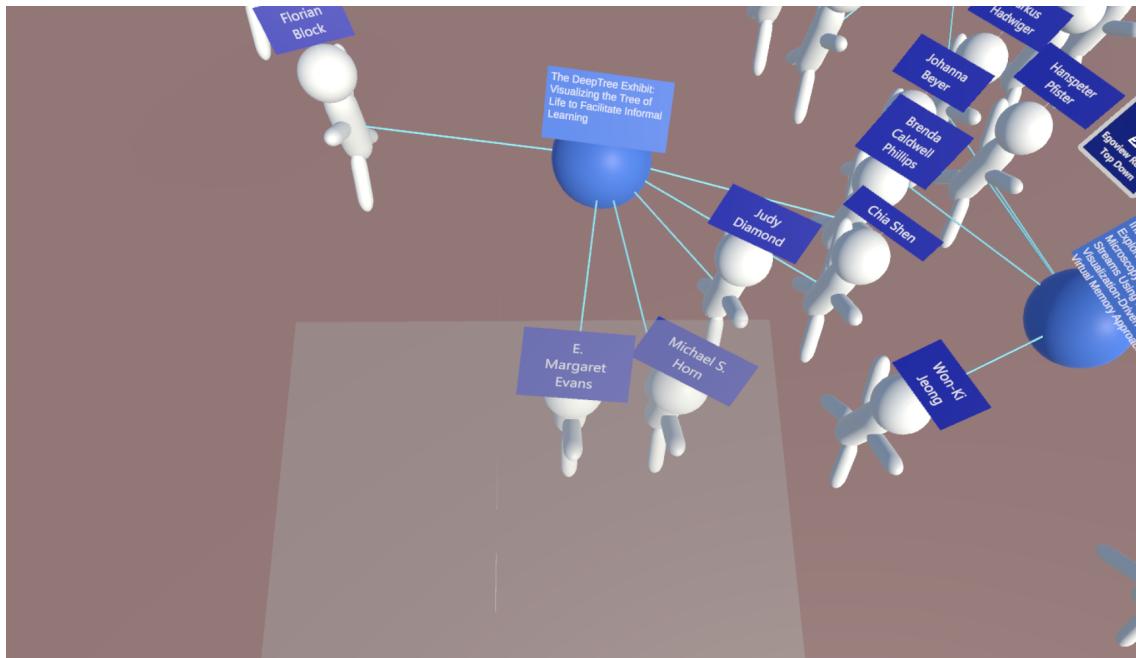


Abbildung 4.8.: Der Benutzer befindet sich hier auf der mittleren Plattform und blickt auf seine Füße. Die Plattform ist transparent, sodass auch Autoren und Paper betrachtet werden können, die sich darunter befinden.

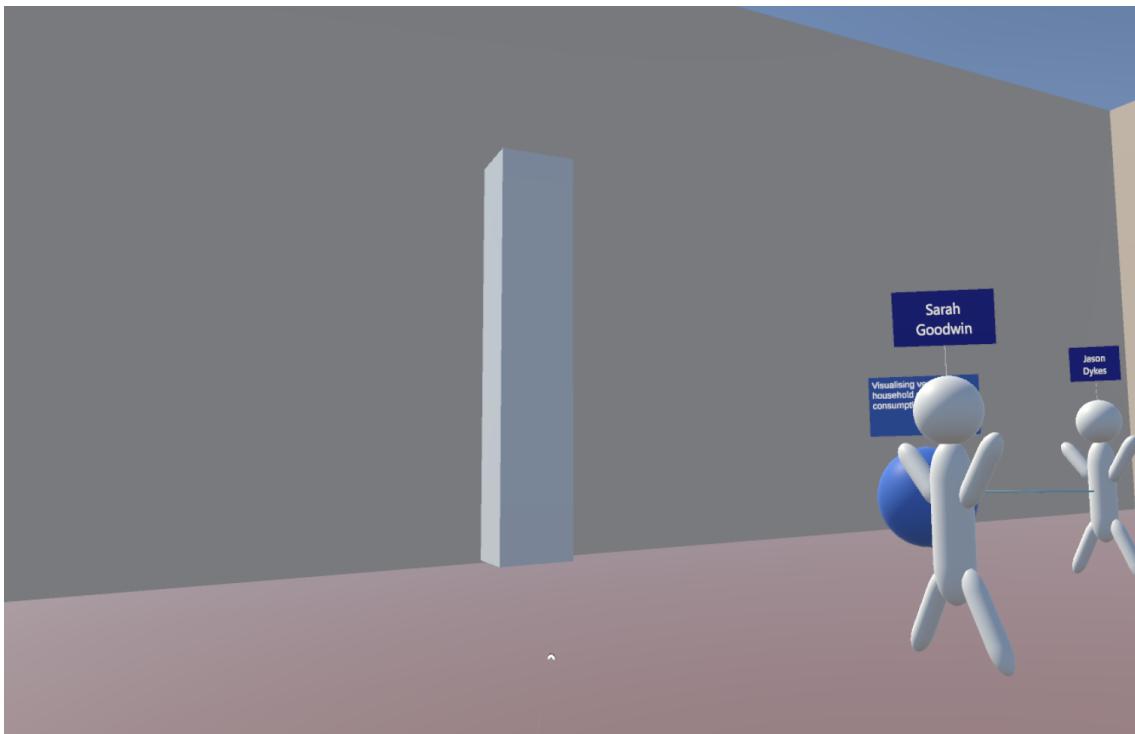


Abbildung 4.9.: Der Aussichtspunkt an der hinteren Wand eines Raums: Hoch auf die Säule kann sich der Benutzer teleportieren, um einen Überblick über alle Autoren und Paper innerhalb des Raums zu bekommen.

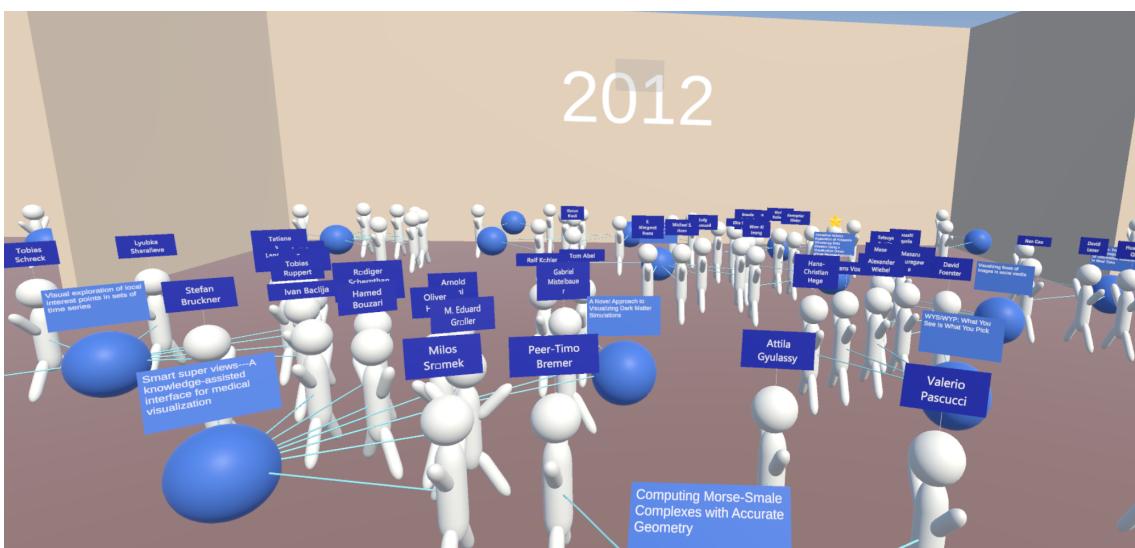


Abbildung 4.10.: Der Blick vom Aussichtspunkt an der hinteren Wand eines Raums aus.

4. Implementierung

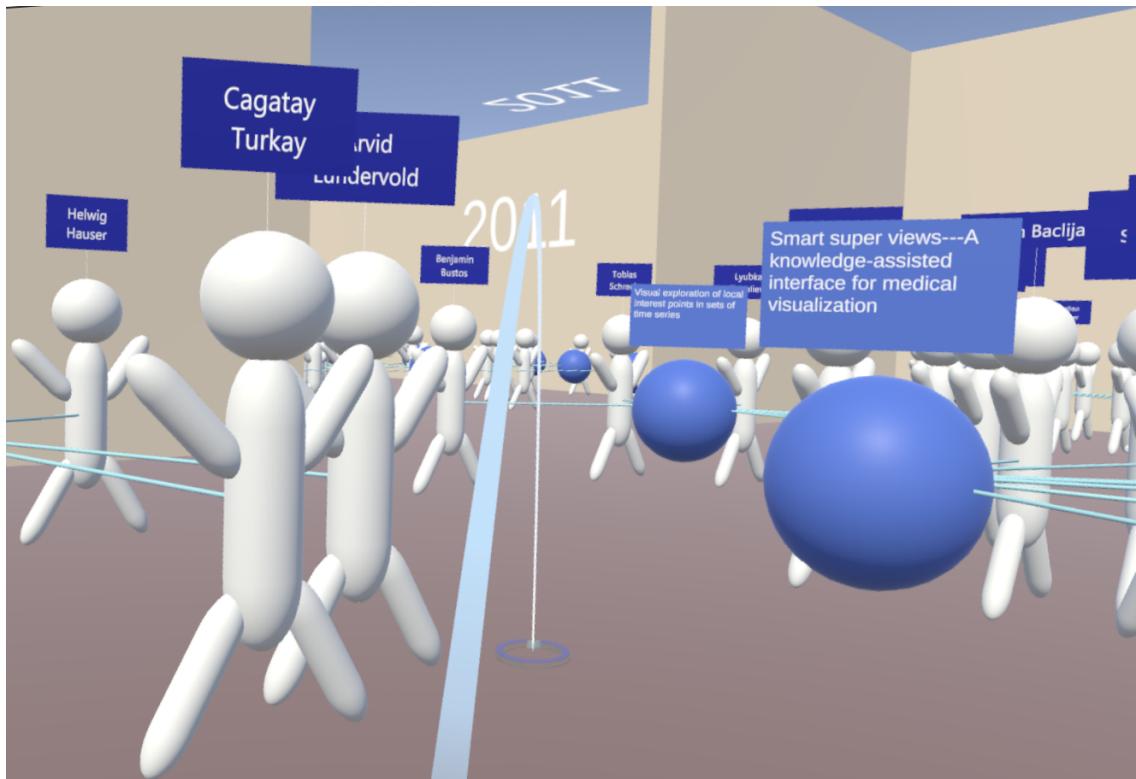


Abbildung 4.11.: Die Teleport-Funktion: Schiebt der Benutzer den Joystick des linken Controllers nach vorne während er in eine Richtung zeigt, erscheint ein gebogener Strahl, der in einem Kreis auf dem Boden mündet. Durch Neigung der Hand kann die Distanz bestimmt werden. Der Kreis zeigt den Punkt an, an den teleportiert wird. Lässt der Benutzer den Joystick los, wird er an diesen Punkt teleportiert. Ist der Strahl jedoch rot, kann nicht an den ausgewählten Punkt teleportiert werden.

wird er an den von ihm definierten Punkt auf dem Boden teleportiert. Der Benutzer kann sich an einen der Aussichtspunkte (mittlere Plattform oder Säule an der Wand) bewegen, innerhalb des aktuellen Raums oder von Raum zu Raum. Die Teleportations-Funktion, inklusive der dazugehörigen Visualisierungen, ist standardmäßig in das MRTK und die damit erstellten Anwendungen eingebunden.

Wird ein Autor in der Übersichts- oder der Ego-Ansicht selektiert, so öffnet sich die Ego-Ansicht des selektierten Autors: Alle Zimmer der Jahre werden angezeigt, in denen der Autor mindestens ein Paper veröffentlicht hat (siehe Abb. 4.2).

Um stets in die Top-Down Sicht einer Ansicht wechseln zu können, gibt es ein Menü, das dem Benutzer stets folgt (siehe Abb. 4.12 und Abb. 4.7 rechts). Dieses Menü, inklusive dessen unterschiedlicher Verhaltensskripte, ist das sogenannte "Nähe-Menü", welches das MRTK bereithält. Wählt der Benutzer den unteren Knopf des Menüs, so gelangt er in die Top-Down Sicht der aktuell ausgewählten Ego-Ansicht. Wählt er den oberen Knopf, so gelangt er zur Top-Down Sicht der Übersichts-Ansicht. Wird die Top-Down Sicht ausgewählt, so werden die Zimmer der ausgewählten

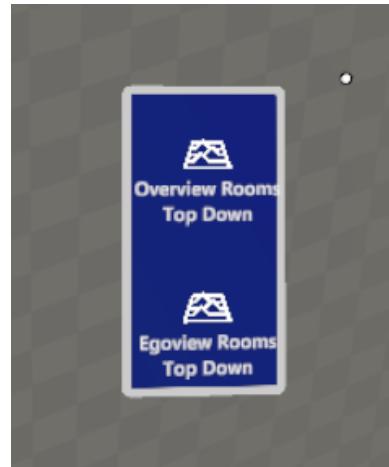


Abbildung 4.12.: Das "Nähe-Menü": Es folgt dem Benutzer und besteht aus zwei Knöpfen: Nach Selektion des oberen Knopfs landet der Benutzer in der Top-Down Sicht der Übersichts-Ansicht, nach Selektion des unteren Knopfs landet er in der Top-Down Sicht der Ego-Ansicht (vorausgesetzt es wurde bereits ein Autor selektiert).

Ansicht stets direkt mittig vor den Benutzer positioniert, das heißt abhängig von dessen Blickrichtung. So kann sich der Benutzer frei bewegen und drehen und erhält bequem die Top-Down Sicht der Zimmer vor sich.

5. Benutzerstudie

Dieses Kapitel stellt die Benutzerstudie vor, welche im Rahmen dieser Arbeit anhand des erstellten Prototyps durchgeführt wurde. In den folgenden Abschnitten werden die Teilnehmer vorgestellt, der Ablauf der Studie erläutert sowie die Ergebnisse der Studie präsentiert und diskutiert.

5.1. Teilnehmer

Für die Studie wurden 5 bis 6 Teilnehmer aus dem Forschungsbereich der Visualisierung benötigt, da der Datensatz Wissenschaftler und Paper aus der Visualisierung wiederspiegelt. Die 5 Teilnehmer waren Mitarbeiter des Visualisierungsinstituts der Universität Stuttgart und bestanden aus 4 Männern und einer Frau. Einer der Teilnehmer war Postdoktorand, die restlichen 4 Doktoranden.

Die Teilnehmer waren zwischen 25 und 38 Jahren.

Einer der Teilnehmer gab an, dass ihm die Wissenschaftler im Bereich der Visualisierung etwas bekannt sind, alle anderen gaben an, dass sie ihnen sehr bekannt sind.

Alle Teilnehmer haben bis zu diesem Zeitpunkt mindestens eine Konferenz besucht, jedoch nur zwei von ihnen haben tatsächlich die IEEE VIS Konferenz besucht, um deren Datensatz es bei dieser Anwendung geht. Der Postdoktorand hat diese schon mindestens 10 mal besucht, der andere Teilnehmer zwischen 1 und 3 mal.

Ebenso haben alle Teilnehmer moderate Erfahrung mit VR Brillen und virtuellen Umgebungen. Einem Teilnehmer waren dynamische Netzwerke nicht bekannt, den anderen waren sie ein wenig ein Begriff.

5.2. Ablauf

Jeder Teilnehmer nahm allein an der Studie teil. Während der Durchführung waren nur der Studienteilnehmer und die Leiterin der Studie anwesend. Für eine spätere Analyse wurden Bildschirm- und Tonaufnahmen gemacht. Im Folgenden wird der Ablauf der Studie mit einem Teilnehmer beschrieben.

5. Benutzerstudie

5.2.1. Vorbereitung

Zu Beginn wird dem Teilnehmer eine Beschreibung der Studie ausgehändigt, welche auch Informationen zu potenziellen Risiken und zur Datenspeicherung und -nutzung beinhalten. Hinzuzufügen ist, dass die Studie zu jeder Zeit durch den Teilnehmer abgebrochen werden konnte (beispielsweise wenn motion sickness auftritt, was durch die Verwendung einer VR Brille und innerhalb einer virtuelle Umgebung durchaus möglich ist). Ein Konsens-Formular wird ebenfalls ausgehändigt. Diese Dokumente werden vom Teilnehmer gelesen und das Konsens-Formular wird unterschrieben.

Danach füllt er einen Fragebogen aus, welcher Fragen zu demografischen Daten des Teilnehmers beinhaltet (siehe Anhang A). Dem Teilnehmer wird der Kontext der Studie erklärt, das heißt ihm wird mitgeteilt, dass es sich beim Objekt der Studie um eine VR Anwendung handelt, welche den „Visualization Publications Dataset“ wiederspiegelt. Dieser Datensatz beinhaltet alle Paper, welche im Rahmen der IEEE VIS Konferenz zwischen den Jahren 1990 und 2021 veröffentlicht wurden. Er wird dabei auch darauf hingewiesen, dass die Anwendung nur einen Teil dieser Daten wiederspiegelt (das heißt 515 Paper). Der Teilnehmer wird darum gebeten, seine Gedanken laut auszusprechen während er sich in der virtuellen Umgebung befindet, damit die Studienleiterin sich ein Bild von der Vorgehensweise des Teilnehmers machen kann und gegebenenfalls auch Anregungen zu bestimmten Facetten der Anwendung erhält.

5.2.2. Aufgabenorientiertes Kennenlernen der Anwendung

Der Teilnehmer setzt sich die VR Brille auf, bekommt beide Controller in die Hände und hat zu Beginn Zeit sich zu orientieren. Während der Teilnehmer sich in der virtuellen Umgebung befindet, beobachtet die Studienleiterin sein Verhalten und stellt gegebenenfalls Fragen bezüglich seiner Vorgehensweise oder seinen Anmerkungen. Nun wird er durch die Anwendung geführt. Dabei werden ihm der Reihe nach Aufgaben gestellt und auch die verschiedenen Ansichten und Interaktionsmöglichkeiten erklärt.

Beim Start der Anwendung befindet sich der Teilnehmer in der Top-Down Sicht auf die Übersichts-Ansicht. Dem Teilnehmer wird diese Ansicht, sowie die verschiedenen Navigationsmöglichkeiten in der Top-Down Sicht erklärt. Anschließend folgt die erste Aufgabe:

„Gehe zum Raum des Jahres 2015 und finde Daniel Weiskopf.“

Dem Teilnehmer wird erklärt, wie er einen Raum in der Übersichts-Ansicht selektieren kann. Hat er dies getan, befindet er sich auf der mittleren Plattform des eben selektierten Raums. Nun folgen Erklärungen zu den Aussichtspunkten innerhalb des Raums, sowie der Fortbewegungsmöglichkeiten in Form von Teleportation.

Nachdem der Teilnehmer Daniel Weiskopf in diesem Raum gefunden hat, geht es zur nächsten Aufgabe:

„In welchen Jahren hat Thomas Ertl Paper veröffentlicht?“

Dem Teilnehmer wird die Selektion eines Autors erklärt. Nachdem der Teilnehmer Thomas Ertl ausgewählt hat verschwindet die Übersichts-Ansicht und die Ego-Ansicht in Top-Down Sicht öffnet sich. Diese Ansicht wird dem Teilnehmer erläutert. Er nennt die Jahre, in denen der ausgewählte Autor Paper veröffentlicht hat.

Nun folgt die letzte Aufgabe:

„In welchem Jahr hat Thomas Ertl das Paper mit dem Titel „Hardware-based ray casting for tetrahedral meshes“ veröffentlicht? Nenne alle Autoren des Papers.“

Der Teilnehmer wird noch einmal auf alle Navigationsmöglichkeiten hingewiesen, die genaue Vorgehensweise für diese Aufgabe bleibt jedoch ihm überlassen. Hat er das Paper gefunden und die Frage nach den Autoren beantwortet, wird ihm noch zuletzt die Funktion des Nähe-Menüs erläutert.

5.2.3. Freies Testen der Anwendung

Nun hat der Teilnehmer die Möglichkeit, die Anwendung frei nach Belieben zu erkunden. Falls er nicht sicher ist was er als nächstes tun soll, gibt es noch optionale Aufgaben die ihm gestellt werden:

„Finde 3 Autoren die du kennst.“

„Wähle einen davon aus um herauszufinden, welche Paper er veröffentlicht hat.“

„Wähle einen Co-Autor eines Papers aus um herauszufinden, welche Paper dieser im selben Jahr (oder allgemein über alle Jahre) veröffentlicht hat.“

5.2.4. Meinungsabfrage

Schließlich füllt der Teilnehmer einen Fragebogen bezüglich der Benutzung der Anwendung aus. Neben Fragen, welche das Ankreuzen auf einer Skala beinhalten (siehe Anhang) gibt es auch offen gestellte Fragen, bei denen der Teilnehmer seine Ansichten textuell mitteilen kann. Auf diese Fragen und die Antworten der Teilnehmer wird im Anschluss beziehungsweise während der Bearbeitung des Fragebogens im Dialog näher eingegangen. Dabei können weiterführende Fragen sowohl vom Teilnehmer, als auch vom Studiendurchführenden gestellt und so ein detaillierteres Bild der Meinung des Teilnehmers geschaffen werden.

5.3. Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Benutzerstudie präsentiert und diskutiert. Der Abschnitt zur Navigation zeigt das Nutzerverhalten der Teilnehmer bezüglich der verschiedenen Navigationsmöglichkeiten der Anwendung auf (beispielsweise das Erlernen der Controllerfunktionen, der Nutzung der Teleportfunktion und der Aussichtspunkte) und gibt die Verbesserungsvorschläge der Teilnehmer wieder. Abschnitt 5.3.2 zeigt die Strategien auf, welche die Teilnehmer zur Lösung der Aufgaben genutzt haben. Der Abschnitt zur Datenvisualisierung werden vor allem Daten vorgestellt, welche sich die Teilnehmer für eine zukünftige Version der Anwendung wünschen würden, sowie potenzielle Arten der Visualisierung. Abschnitt 5.3.4 geht auf den Grad der Immersivität der Anwendung ein, sowie deren Wirkung auf die Teilnehmer. Zuletzt werden im Abschnitt 5.3.5 potenzielle Anwendungsgebiete für diese Anwendung besprochen, sowie auf

5. Benutzerstudie

einzelne Nutzererlebnisse der Teilnehmer. Es wird zum Teil Bezug auf nummerierte Fragen oder Aussagen genommen, welche sich im Fragebogen befinden. Der Fragebogen befindet sich in Kapitel A als Anhang.

5.3.1. Navigation

Während der Durchführung der Studie traten zwei Probleme immer wieder auf, welche vermutlich auch das Nutzerverhalten mit beeinflusst haben.

Die bei der Studie verwendeten Controller waren nicht dieselben wie die, die bei der Implementierung verwendet wurden. Die bei der Studie verwendeten Controller hatten Joysticks, welche stärker abgenutzt waren und somit zu SStick Drift"führten. In der Anwendung zeigte sich, dass dadurch die Bewegung der Zimmer in der Top-Down Sicht selbst dann ausgelöst wurde, wenn der Benutzer keinen der Joysticks auch nur berührte. Dies führte zu Frustration der Teilnehmer, vor allem aber auch zu einer beeinträchtigten Nutzung wenn die Zimmer zum Benutzer herangezogen wurden, da dann viel Bewegung direkt vor dem Benutzer geschah, die nicht von ihm ausgelöst wurde. Dies beeinflusste daher vermutlich auch bis zu einem gewissen Grad die Strategie, mit der manche der Benutzer sich durch die Anwendung navigierten.

Des Weiteren war es nicht immer ohne Weiteres möglich, sich von der mittleren Plattform eines Zimmers herunter zu teleportieren. Die Teleportfunktion des MRTK setzt einen Collider auf einem Objekt voraus. Aber obwohl die Collider der Autoren, der Paper und der Verbindungen zwischen ihnen nicht direkt im Einflussbereich des Teleportstrahls war, konnte gerade bei dichten Bereichen nur schwer ein Punkt auf dem Boden gefunden werden, der das teleportieren erlaubte. Da es jedoch häufig möglich war auf die Autoren selbst zu teleportieren, wurde dies zur Umgehung genutzt beziehungsweise vom Studienleiter als Hinweis an den Teilnehmer weitergegeben.

Alle Teilnehmer haben die Funktionsweise der Controller recht schnell gelernt. Dies spiegelt auch der Fragebogen wieder: Bei Nr. 10 gaben die Teilnehmer an, dass sie sich mehr auf die Aufgaben als auf die Mechanismen konzentrieren konnten. Dennoch kam es bei manchen Teilnehmern vor, dass sie aus Versehen ein Objekt selektierten: Ohne auf eine bestimmte Stelle zu zeigen drückten sie dennoch den Trigger-Knopf an einem der Controller.

Alle Teilnehmer versuchten mehrfach, sich sehr weit zu teleportieren während sie in einem Raum standen. Der Drang, sich in der virtuellen Umgebung bewegen zu wollen (siehe Nr. 6 des Fragebogens), war bei allen groß oder sehr groß. Dies zeigte sich auch dadurch, dass einige versuchten, Autoren oder Zimmer aus großer Entfernung selektieren zu wollen. Gerade in den Räumen kam so der Wunsch auf, sich schneller vorwärts bewegen zu wollen. Ein Teilnehmer schlug vor, eines der Schilder über den Durchgängen zwischen den Zimmern selektieren zu können, um direkt zur mittleren Plattform des nächsten Raums (oder vorherigen, je nachdem welches Schild selektiert wurde) teleportiert zu werden.

Die Aussichtspunkte wurden von allen Teilnehmern zur Kenntnis genommen, dennoch haben nur zwei Teilnehmer auch den Aussichtspunkt an der Wand getestet. Aktiv genutzt werde der Aussichtspunkt an der Wand von keinem der Teilnehmer. Da sich der Benutzer nach der Selektion eines Raums auf der mittleren Plattform des selektierten Raums befindet, haben sie sich zwangsläufig mit dieser auseinandersetzen müssen. Zwei der Teilnehmer bewegten sich nach einer kurzen Orientierung auf den Boden des Raums um sich dort fortzubewegen, die anderen verharren längere

Zeit auf der mittleren Plattform bevor sie sich auf den Boden teleportierten. Für die erste Aufgabe, der Suche nach Daniel Weiskopf im ausgewählten Raum, haben sich alle Teilnehmer zuerst auf der mittleren Plattform orientiert und suchten nach diesem Autor oder einem, mit dem sie ihn zusammen vermuteten, bevor sie dann von der mittleren Plattform auf den Boden gewechselt sind. Nur ein Teilnehmer wechselte zurück auf diese Plattform nachdem er zuvor auf dem Boden war, alle anderen benutzten die Aussichtspunkte gar nicht mehr. Dies kann jedoch auch dadurch beeinflusst worden sein, dass die Teleportation von der mittleren Plattform auf den Boden zum Teil erschwert war. Bei zwei Teilnehmern kam der Wunsch nach einer sich bewegenden Plattform aus, welche der Benutzer dann über den Raum bewegen kann.

Das Nähe-Menü, welches dem Benutzer stets folgt, ist von den Teilnehmern nicht als störend empfunden worden. Allen Teilnehmern ist es aber dennoch einmal passiert, dass sie einen der Knöpfe des Menüs selektierten, obwohl sie gerade dabei waren ein Zimmer oder einen Autor zu selektieren oder sich an einen Punkt teleportieren wollten.

Die Teilnehmer gaben im Fragebogen an, dass es ihnen relativ leicht fiel innerhalb der virtuellen Umgebung zu navigieren (abgesehen von der Joystick-Problematik, welche am Anfang beschrieben wurde), und dass sie sich am Ende relativ bis sehr fähig bei der Fortbewegung und der Interaktion mit Objekten fühlten. Ein Teilnehmer fühlte sich gar nicht desorientiert, zwei nur wenig und zwei moderat desorientiert während der Navigation durch die virtuelle Umgebung. Alle empfanden es als moderat bis sehr gut möglich, Objekte von verschiedenen Sichten auf die Zimmer (das heißt mithilfe der Top-Down Sicht und der Aussichtspunkte) zu analysieren. Zusätzlich nutzten die Teilnehmer jedoch auch teilweise das Teleportieren von Autor zu Autor, da dies zu einer leicht erhöhten Sicht und damit einer besseren Übersicht führte. Gerade bei der Übersichts-Ansicht war das den Teilnehmern wichtig, da hier die Autoren und Paper, sowie die Verbindungen zwischen ihnen dazu führten, dass sich viele Objekte innerhalb der Sicht des Benutzers befanden.

Einer der Teilnehmer schlug vor, einen „Zurück“-Button hinzuzufügen, um so zur vorherigen Ansicht wechseln zu können. So könnte man beispielsweise nach einem Wechsel zur Übersichts-Ansicht zur zuletzt angezeigten Ego-Ansicht zurückspringen.

5.3.2. Strategien

Allgemein gab es eine Tendenz bei den Teilnehmern, während der Lösung der Aufgaben über die Top-Down Sicht zu agieren, vor Allem bei der Übersichts-Ansicht. Jedoch waren diejenigen, welche sich bei der Suche nach dem Paper von Thomas Ertl auf dem Boden der Zimmer befanden und per Teleport über den Boden bewegt haben, schneller dieses zu finden. Diejenigen, welche versuchten es allein über die Top-Down Sicht zu finden oder mithilfe der Top-Down Sicht von Zimmer zu Zimmer wechselten, haben länger gebraucht. Zudem übersahen sie es leichter. Auch wenn ein Teilnehmer auf der mittleren Plattform einer Zimmers stand, übersah er es schneller. Befand sich der Teilnehmer jedoch auf dem Boden eines Zimmers, übersah er das Paper in keinem der Fälle.

Die mittlere Plattform eines Zimmers wurde stets dazu benutzt, um sich einen Überblick über alle Autoren und Paper eines Zimmers zu machen. Erst wenn der Teilnehmer wusste in welche Richtung er gehen wollte ist er von der Plattform herunter teleportiert. Dabei wurde sich auch an anderen Autoren orientiert wenn ein bestimmter Autor gesucht wurde (da beispielsweise diese oft in der Vergangenheit zusammengearbeitet haben).

5. Benutzerstudie

Zwei Teilnehmer teleportierten sich gerne von Autor zu Autor, anstatt sich am Boden fortzubewegen. Dies lag bei einem der Teilnehmer daran, dass er es als schwierig empfand einen Platz am Boden zu finden der das Teleportieren erlaubte. Der andere Teilnehmer empfand die erhöhte Position als angenehm, da dies einen besseren Überblick bot und auch die Überdeckung verringerte. Gerade bei den Namen war es so leichter möglich, mehrere Autoren auf einen Blick ausfindig zu machen, ohne sich weiter im Raum fortbewegen zu müssen.

5.3.3. Datenvizualisierung

Im Fragebogen gaben die Teilnehmer an, dass es ihnen leicht fiel die gesuchten Informationen zu finden (siehe Nr. 12 im Fragebogen). Alle Teilnehmer wünschten sich aber mehr Informationen zu den Papern und den Autoren.

Bei den Papern schlugen mehrere von ihnen ein Teaser-Bild an den jeweiligen Papern vor, sowie die Möglichkeit das Abstract bei Bedarf abzurufen. Zudem wünschten sie manche die Angabe der Keywords, die Anzahl der Zitierungen des Papers sowie den Themenbereich der Konferenz.

Bei den Autoren wäre die Angabe des Instituts und des Ursprungslandes und die Angabe des ersten, des letzten und des vorletzten Autors von Interesse. Einer der Teilnehmer schlug vor, die Position der Namen mithilfe der Distanz zwischen der Autoren und der Paper, an denen sie gearbeitet haben, darzustellen - dabei wäre der Erstautor am nächsten zum Paper positioniert, und der letzte Autor am weitesten entfernt.

Ein Teilnehmer machte den Vorschlag, eine Funktion hinzuzufügen, welche es erlaubt Autoren und Paper denen man begegnet auf eine Liste zu setzen, sodass diese während des Gangs durch die virtuelle Umgebung für eine spätere Recherche zu speichern.

Allen Teilnehmern mangelte es an einer Filterfunktion. Gerade bei der Suche nach einem bestimmten Autor ist es in der Übersichts-Ansicht schwierig, diesen ausfindig zu machen. Ein Teilnehmer schlug vor, in der Top-Down Sicht der Übersichts-Ansicht die Angabe eines bestimmten Autors machen zu können, sodass die Zimmer gehighlighted werden, in denen der Autor zu finden ist.

5.3.4. Immersivität

Drei der Teilnehmer waren sich laut ihrer Angabe im Fragebogen (siehe Nr. 2) der VR Brille mäßig bewusst. Hingegen waren sich vier Teilnehmer der Controller sehr bewusst (siehe Nr. 3). Moderat bis sehr immersiv nahmen alle Teilnehmer die virtuelle Umgebung war (siehe Nr. 1). Ebenso fühlten sich alle moderat bis relativ involviert in die virtuelle Erfahrung die die Anwendung bot (siehe Nr. 4). Alle gaben an, dass sie sich sehr schnell an die virtuelle Erfahrung anpassen konnten. Aus diesen Angaben kann man schließen, dass die Immersivität trotz der noch sehr simplen Darstellung der Autoren, Paper und Räume durchaus gegeben war.

Ein Teilnehmer sprach davon, dass die Anwendung wegen des Aspekts der Gamification den er in der Fortbewegung innerhalb eines Raums sah für Motivation sorgt. Ein anderer Teilnehmer gab im Fragebogen (siehe Nr. 26) an, dass verglichen mit einer Desktop-Anwendung es möglich ist, den Platz besser zu nutzen. Jedoch gestaltet sich die Suche nach einem bestimmten Autor vermutlich als schwierig wenn viele Daten (und somit auch viele Autoren und Paper) visualisiert werden.

5.3.5. Potenzielle Anwendungsgebiete und Nutzererlebnisse

Ein Teilnehmer konnte sich vorstellen, diese Anwendung zu nutzen, um eine Abbildung der Konferenzräume einer Konferenz zu schaffen. Dabei könnten diese nach einer Konferenz dazu genutzt werden, die Konferenz noch einmal Revue passieren zu lassen. Unter Umständen könnte die Erfahrung mit zusätzlichen Fotos der Konferenz ergänzt. Hingegen wäre es ebenfalls möglich, die Anwendung vor dem Stattfinden einer Konferenz zu benutzen. Dabei könnte die Anwendung zur Planung der Vorträge, die vom Benutzer besucht werden möchten, genutzt werden. Vorträge, welche innerhalb eines Raums stattfinden, gehören dabei zu einem Themenbereich und werden in diesem Raum positioniert. So kann sich der Benutzer sehr anschaulich einen Überblick über alle anstehenden Vorträge und Themenbereiche verschaffen.

Ein anderer Teilnehmer gab im Fragebogen (siehe Nr. 26) an, dass diese Anwendung einem das Gefühl gibt bei einer Konferenz oder einer Postersession dabei zu sein. Die Exploration ist auf diese Art, verglichen mit einem Browser und dem Anklicken von Links, viel reizvoller. Einer der Teilnehmer merkte an, dass das Lösen der Aufgaben aus der Studie mit einer Desktop-Anwendung schneller ginge. Würde man allerdings die Teleport-Funktion so anpassen, dass der Benutzer weitere Strecken zurücklegen kann, oder auch die Möglichkeit der Selektion der Schilder über den Durchgängen zum schnellen Zimmerwechsel nutzen ist es denkbar, dass die Zeit solche Aufgaben zu erledigen wesentlich verkürzt wird.

Zwei der Teilnehmer sehen die Anwendung als Möglichkeit nach verwandten Arbeiten und neuen Autoren zu suchen. Dabei ist es von Vorteil, dass man aus der Ego-Ansicht eines Autors direkt zu anderen Autoren springen kann, welche dann unter Umständen wiederum andere interessante Paper mit anderen Autoren veröffentlicht haben.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Bisher wurden Visualisierungen dynamischer Netzwerke mit einer sehr begrenzten Attributanzahl in Form von Desktop-Anwendungen dargestellt. In VR gibt es zur Zeit nur Visualisierungen von Graphen ohne Zeitabhängigkeit. Jedoch bietet der 3-dimensionale Raum durch den dazugewonnenen Raum im Vergleich zu Desktop-Anwendungen andere Möglichkeiten, um Daten einzelner Knoten und Kanten eines dynamischen Netzwerks zu visualisieren. Der Benutzer kann sich nicht nur frei durch die Daten hindurch bewegen und durch visuelle Repräsentationen der Daten (beispielsweise in Form von Autoren und Papern) einen konkreten Bezug zu ihnen erhalten, sondern auch den Raum um sich selbst dazu nutzen, diese Daten zu analysieren.

Diese Arbeit hat Konzepte für die Visualisierung dynamischer Netzwerke in VR anhand des Visualization Publications Datensatzes vorgestellt, welche die Daten weniger abstrakt visualisieren, und somit für ein immersives und realitätsnahe Erlebnis für den Benutzer sorgen. Die Implementierung eines Prototyps, der Teile der vorgestellten Konzepte beinhaltet, wurde implementiert und im Rahmen einer Benutzerstudie auf dessen Benutzbarkeit hin überprüft. Dabei fiel auf, dass die Teilnehmer die Daten gerne aus einer Top-Down Sicht und von höher gelegenen Positionen betrachteten, um sich einen Überblick zu verschaffen. Der Drang nach schneller Fortbewegung war groß, vor Allem wenn sie sich auf dem Boden befanden, wo sie sich zwischen den Autoren und Papern fortbewegen konnten. Potenzielle Anwendungsbereiche einer solchen Anwendung sahen die Teilnehmer vor allem zur Vor- und Nachbereitung einer Konferenz, oder für die Entdeckung bisher unbekannter Autoren und Paper.

Grenzen und Ausblick

Der im Rahmen dieser Arbeit implementierte Prototyp spiegelt nur einen kleinen Teil des ursprünglichen Datensatzes wieder. Doch selbst bei dieser Datenmenge kommt es innerhalb der Zimmer, aber vor Allem in der Übersichts-Ansicht, sehr schnell zu visual clutter. Gerade die Verbindungen zwischen den Autoren führen zu sehr vielen Objekten im Sichtfeld des Benutzers. Um noch mehr Daten visualisieren zu können wäre es bei der Zimmer-Metapher notwendig, die Zimmer massiv zu vergrößern. Doch schon jetzt haben die Benutzer das Bedürfnis, sich schneller und leichter fortzubewegen, wenn sie sich auf dem Boden eines Zimmers befinden. Demnach müsste zukünftig erforscht werden, wie man die Fortbewegung des Benutzers innerhalb der Zimmer noch effizienter gestalten kann. Neben der Erweiterung der Teleportdistanz könnten beispielsweise direkte Teleport-Punkte innerhalb eines Zimmers geschaffen werden, um schneller von einem Ende des Zimmers zum anderen zu kommen. Plattformen, welche den Benutzer dynamisch über den Köpfen der Autoren bewegen und auch vertikale Bewegungen ermöglichen, könnten zu den Fortbewegungsmöglichkeiten beitragen und dazu noch visual clutter verringern.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Um nicht nur visual clutter zu vermeiden, sondern auch noch mehr Bedeutung in deren Position innerhalb des Raums zu geben ist es sinnvoll, sich zukünftig noch mehr Gedanken bezüglich der Positionierung der Autoren und Paper zu machen. Unter Umständen ist die Visualisierung der Verbindungen zwischen ihnen dann nicht einmal mehr nötig.

Im Prototypen wurde nur ein begrenzter Teil der Daten visualisiert. Aber gerade bei den Daten bezüglich der Paper gibt es vieles, das für die Teilnehmer in der Benutzerstudie noch von Interesse gewesen wäre, wie beispielsweise das Abstract eines Papers oder die damit verbundenen Keywords. Ein Teaser-Bild, das den Inhalt eines Papers repräsentiert, wäre visuell sehr ansprechend. Aufgrund der 3-dimensionalen Natur einer virtuellen Umgebung müsste man einen Weg finden, wie man ein 2-dimensionales Bild anschaulich an einem Paper im Raum platziert. Eine 3-dimensionale Repräsentation eines Bestandteils des Papers wäre hier zum Beispiel wesentlich anschaulicher und würde den zur Verfügung stehenden Raum besser ausnutzen.

Literaturverzeichnis

- [APP11] D. Archambault, H. C. Purchase, B. Pinaud. „Difference Map Readability for Dynamic Graphs“. In: *Graph Drawing*. Springer Berlin Heidelberg, 2011, S. 50–61. doi: [10.1007/978-3-642-18469-7_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-18469-7_5) (zitiert auf S. 14).
- [BBC+21] M. Burch, K. B. ten Brinke, A. Castella, G. K. S. Peters, V. Shterianov, R. Vlasvinkel. „Dynamic graph exploration by interactively linked node-link diagrams and matrix visualizations“. In: *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art* 4.1 (Sep. 2021). doi: [10.1186/s42492-021-00088-8](https://doi.org/10.1186/s42492-021-00088-8) (zitiert auf S. 14).
- [BBDW14] F. Beck, M. Burch, S. Diehl, D. Weiskopf. *The State of the Art in Visualizing Dynamic Graphs*. en. 2014. doi: [10.2312/EUROVISSTAR.20141174](https://doi.org/10.2312/EUROVISSTAR.20141174) (zitiert auf S. 13).
- [BG21] F. Beltran, J. Geng. „Building a Distributed XR Immersive Environment for data Visualization“. In: *2021 ITU Kaleidoscope: Connecting Physical and Virtual Worlds (ITU K)*. IEEE, Dez. 2021. doi: [10.23919/ituk53220.2021.9662103](https://doi.org/10.23919/ituk53220.2021.9662103) (zitiert auf S. 15).
- [BHF+18] V. Bruder, M. Hlawatsch, S. Frey, M. Burch, D. Weiskopf, T. Ertl. „Volume-Based Large Dynamic Graph Analytics“. In: *2018 22nd International Conference Information Visualisation (IV)*. IEEE, Juli 2018. doi: [10.1109/iv.2018.00045](https://doi.org/10.1109/iv.2018.00045) (zitiert auf S. 14).
- [BR17] M. Burch, T. Reinhardt. „Dynamic Graph Visualization on Different Temporal Granularities“. In: *2017 21st International Conference Information Visualisation (IV)*. IEEE, Juli 2017. doi: [10.1109/iv.2017.44](https://doi.org/10.1109/iv.2017.44) (zitiert auf S. 14).
- [Bur15] M. Burch. „Dynamic Graph Visualization with Multiple Visual Metaphors“. In: *Proceedings of the 8th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction*. ACM, Aug. 2015. doi: [10.1145/2801040.2801048](https://doi.org/10.1145/2801040.2801048) (zitiert auf S. 14).
- [Bur16] M. Burch. „The dynamic graph wall: visualizing evolving graphs with multiple visual metaphors“. In: *Journal of Visualization* 20.3 (Apr. 2016), S. 461–469. doi: [10.1007/s12650-016-0360-z](https://doi.org/10.1007/s12650-016-0360-z) (zitiert auf S. 14).
- [DCW+18] A. Drogemuller, A. Cunningham, J. Walsh, M. Cordeil, W. Ross, B. Thomas. „Evaluating Navigation Techniques for 3D Graph Visualizations in Virtual Reality“. In: *2018 International Symposium on Big Data Visual and Immersive Analytics (BDVA)*. IEEE, Okt. 2018. doi: [10.1109/bdva.2018.8533895](https://doi.org/10.1109/bdva.2018.8533895) (zitiert auf S. 15).
- [FAM+11] P. Federico, W. Aigner, S. Miksch, F. Windhager, L. Zenk. „A visual analytics approach to dynamic social networks“. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies*. ACM, Sep. 2011. doi: [10.1145/2024288.2024344](https://doi.org/10.1145/2024288.2024344) (zitiert auf S. 14).

Literaturverzeichnis

- [FSFK22] G. Fouché, F. A. Sanz, E. Faure, C. Kervrann. „Timeline Design Space for Immersive Exploration of Time-Varying Spatial 3D Data“. In: *28th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. ACM, Nov. 2022. doi: [10.1145/3562939.3565612](https://doi.org/10.1145/3562939.3565612) (zitiert auf S. 16).
- [GHW09] G. Groh, H. Hanstein, W. Wörndl. „Interactively visualizing Dynamic Social Networks with DySoN“. In: *Workshop Visual Interfaces to the Social and the Semantic Web (VISSW 2009)*. 2009 (zitiert auf S. 15).
- [HZL+16] Q. He, M. Zhu, B. Lu, H. Liu, Q. Shen. „MENA: Visual Analysis of Multivariate Egocentric Network Evolution“. In: *2016 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)*. IEEE, Sep. 2016. doi: [10.1109/icrv.2016.88](https://doi.org/10.1109/icrv.2016.88) (zitiert auf S. 15).
- [KEK+21] M. Kuznetsov, A. Elor, S. Kurniawan, C. Bosworth, Y. Rosen, N. Heyer, M. Teodorescu, B. Paten, D. Haussler. „The Immersive Graph Genome Explorer: Navigating Genomics in Immersive Virtual Reality“. In: *2021 IEEE 9th International Conference on Serious Games and Applications for Health(SeGAH)*. IEEE, Aug. 2021. doi: [10.1109/segah52098.2021.9551857](https://doi.org/10.1109/segah52098.2021.9551857) (zitiert auf S. 15).
- [KMLM16] O.-H. Kwon, C. Muelder, K. Lee, K.-L. Ma. „A Study of Layout, Rendering, and Interaction Methods for Immersive Graph Visualization“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22.7 (Juli 2016), S. 1802–1815. doi: [10.1109/tvcg.2016.2520921](https://doi.org/10.1109/tvcg.2016.2520921) (zitiert auf S. 15).
- [LBL+21] B. Lee, D. Brown, B. Lee, C. Hurter, S. Drucker, T. Dwyer. „Data Visceralization: Enabling Deeper Understanding of Data Using Virtual Reality“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 27.2 (Feb. 2021), S. 1095–1105. doi: [10.1109/tvcg.2020.3030435](https://doi.org/10.1109/tvcg.2020.3030435) (zitiert auf S. 11, 16).
- [LPED20] J. Liu, A. Prouzeau, B. Ens, T. Dwyer. „Design and Evaluation of Interactive Small Multiples Data Visualisation in Immersive Spaces“. In: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*. IEEE, März 2020. doi: [10.1109/vr46266.2020.00081](https://doi.org/10.1109/vr46266.2020.00081) (zitiert auf S. 16).
- [LSM+17] Q. Li, Q. Shen, Y. Ming, P. Xu, Y. Wang, X. Ma, H. Qu. „A visual analytics approach for understanding egocentric intimacy network evolution and impact propagation in MMORPGs“. In: *2017 IEEE Pacific Visualization Symposium (PacificVis)*. IEEE, Apr. 2017. doi: [10.1109/pacificvis.2017.8031576](https://doi.org/10.1109/pacificvis.2017.8031576) (zitiert auf S. 15).
- [LZH+17] B. Lu, M. Zhu, Q. He, M. Li, R. Jia. „TMNVis: Visual analysis of evolution in temporal multivariate network at multiple granularities“. In: *Journal of Visual Languages & Computing* 43 (Dez. 2017), S. 30–41. doi: [10.1016/j.jvlc.2017.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2017.03.003) (zitiert auf S. 15).
- [PTLZ18] D. Peng, W. Tian, B. Lu, M. Zhu. „DMNEVis: A Novel Visual Approach to Explore Evolution of Dynamic Multivariate Network“. In: *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. IEEE, Okt. 2018. doi: [10.1109/smci.2018.00728](https://doi.org/10.1109/smci.2018.00728) (zitiert auf S. 15).
- [SAK+21] J. Sorger, A. Arleo, P. Kán, W. Knecht, M. Waldner. „Egocentric Network Exploration for Immersive Analytics“. In: *Computer Graphics Forum* 40.7 (Okt. 2021), S. 241–252. doi: [10.1111/cgf.14417](https://doi.org/10.1111/cgf.14417) (zitiert auf S. 11, 15).

- [SWKA19] J. Sorger, M. Waldner, W. Knecht, A. Arleo. „Immersive Analytics of Large Dynamic Networks via Overview and Detail Navigation“. In: *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*. IEEE, Dez. 2019. doi: [10.1109/aivr46125.2019.00030](https://doi.org/10.1109/aivr46125.2019.00030) (zitiert auf S. 16).
- [WPZ+16] Y. Wu, N. Pitipornvivat, J. Zhao, S. Yang, G. Huang, H. Qu. „egoSlider: Visual Analysis of Egocentric Network Evolution“. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22.1 (Jan. 2016), S. 260–269. doi: [10.1109/tvcg.2015.2468151](https://doi.org/10.1109/tvcg.2015.2468151) (zitiert auf S. 15).
- [ZGC+16] J. Zhao, M. Glueck, F. Chevalier, Y. Wu, A. Khan. „Egocentric Analysis of Dynamic Networks with EgoLines“. In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Mai 2016. doi: [10.1145/2858036.2858488](https://doi.org/10.1145/2858036.2858488) (zitiert auf S. 15).

Alle URLs wurden zuletzt am 11.06.2023 geprüft.

A. Fragebogen

A. Fragebogen

Participant-ID: _____

Date: _____

Questionnaire - Demographics

Age: _____

Highest degree of education: _____

Job title: _____

For each of the following questions, mark one box that best describes your personal experience.

How familiar are you with the visualization community (i.e. the researchers within the field)?

Not familiar at all	Mildly familiar	Very familiar
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

How often have you visited conferences in the visualization field (e.g. EuroVis, PacificVis, ..)? _____ times

How often have you visited the IEEE VIS conference so far?

Not at all	1 – 3 times	4 – 6 times	7 – 9 times	10 times and more
<input type="checkbox"/>				

How familiar are you with VR glasses and virtual environments?

Not familiar at all	Mildly familiar	Very familiar
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

How familiar are you with dynamic networks?

Not familiar at all	Mildly familiar	Very familiar
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Participant-ID: _____

Date: _____

Questionnaire – Application-related

For each of the following questions or statements, mark one box that best describes your reactions to using the VR application.

1. How immersed into the virtual environment did you feel while using the application?

Not at all	Moderate	Completely
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. How aware were you of the VR glasses?

Not aware at all	Mildly Aware	Very aware
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. How aware were you of the controllers?

Not aware at all	Mildly Aware	Very aware
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. How involved were you in the virtual environment experience?

Not involved	Mildly involved	Very involved
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. How quickly did you adjust to the virtual environment experience?

Not at all	Slowly	Less than one minute
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. How great was your urge to move around the virtual environment?

Very little	Moderate	Very great
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. How easy was it for you to navigate through the environment? (i.e. via the Top-down buttons, by moving the rooms as a whole and via teleportation)?

Difficult	Moderate	Very easy
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8. How proficient in moving and interacting with the virtual environment did you feel at the end of the experience?

Not proficient	Reasonably proficient	Very proficient
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9. To what degree did you feel confused or disoriented while navigating in the virtual environment?

Not at all	Moderate	Very much
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

10. How well were you able to concentrate on the assigned tasks or required activities rather than on the mechanisms used to perform those tasks or activities?

Not at all	Moderate	Completely
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A. Fragebogen

Participant-ID: _____

Date: _____

11. How well were you able to examine objects by using the different viewpoints (e.g. within a room or the Top-down view) and the navigation techniques (e.g. moving the rooms in the Top-down views, teleporting within the rooms) ?

Not so well	Moderate	Very well
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

12. How easy was it for you to find the information that you were looking for?

Difficult	Moderate	Very easy
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

13. Did you follow any specific strategy while navigating through the environment (e.g. first by using the platform in the middle for orientation purposes, then teleporting on the floor)? If so, which ones were they and why did you use them?

		Strongly Disagree		Strongly Agree
14.	I think that I would like to use this application frequently.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15.	I found this application unnecessarily complex.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16.	I thought this application was easy to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17.	I think that I would need assistance to be able to use this application.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18.	I found the various functions in this application were well integrated.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19.	I thought there was too much inconsistency in this application.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20.	I would imagine that most people would learn to use this application very quickly.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21.	I found this application very cumbersome/awkward to use.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22.	I felt very confident using this application.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Participant-ID: _____

Date: _____

23. I needed to learn a lot of things before I could get going with this application.

24. In which work-related situations would you consider using this application? Which questions would you like to be answered in each situation?

25. Is there any additional information you would like to be visualized within the application that is currently missing?

26. Compared to a desktop application, what do you think are the advantages and disadvantages of using this VR application when navigating a dynamic network?

27. Is there anything you would like to add?

Thank you very much for participating!

Erklärung

Ich versichere, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Ich habe diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

Ort, Datum, Unterschrift