

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
1. Einleitung	7
1.1 Motivation.....	7
1.2 Zielsetzung	7
1.3 Vorgehensweise.....	8
2. Einführung in das Thema	9
3. Stand der Technik	11
3.1 2D and 3D Presentation of Spatial Data: A Systematic Review	11
3.2 Network-based Visualisation of Accessibility for a Public Transport System.....	14
3.3 Lens-based Focus+Context Visualization Techniques for Interactive Exploration of Web-based Reachability Maps.....	15
3.4 Drawing Road Networks with Focus Regions.....	16
3.5 Web-based Visualization of Transportation Networks for Mobility Analytics.....	18
4. Visualisierungskonzept	20
4.1 Einführung in der 3D-Webanwendung	20
4.2 Datengrundlage	22
4.3 Web Map Service	23
4.4 Visualisierungsfragen.....	23
4.4.1 Was ist Walk Score und wie wichtig ist der für die Erreichbarkeit?.....	23
4.4.2 In welchen Bereichen leben viele ältere Menschen mit schlechter Erreichbarkeit?.....	24
4.4.3 Wie werden die Einrichtungen dargestellt und wie werden die wichtigeren Einrichtungen erkannt?.....	25
4.4.4. Welche Informationen liefern die Erreichbarkeitskreisen und wie kann es bei der Einschätzung der Erreichbarkeit einer Einrichtung helfen?	27
4.4.5 Warum ist eine echte isochron-basierte Visualisierung von den Erreichbarkeitskreisen nicht möglich?	28
4.4.6 Welche Gehwege sind für die Versorgung von Seniorinnen und Senioren besonders relevant?...29	29
4.4.7 Können mehrere Einrichtungen mit einer Strecke erreicht werden, liegen einzelne Versorgungseinrichtungen nahe beieinander oder weit entfernt voneinander?.....	31
4.4.8 Welche sind die Vor- bzw. Nachteile dieser 3D-Webanwendung gegenüber einer 2D-Darstellung?	

5. Implementierung.....	34
5.1 Technologien.....	34
5.1.1 Node.js	34
5.1.2 ExpressJs und Sequelize	34
5.1.3 PostgreSQL.....	34
5.1.4 Webpack.....	35
5.1.5. WebGL und ThreeJS	35
5.2 Projektinstallation	36
5.3 Karten.....	36
5.4 Koordinatensystemen. Umwandlung von WGS84 in Lokales Koordinatensystem von ThreeJS	37
5.4.1 WGS84.....	37
5.4.2 WGS84 Karten in ThreeJS.....	37
5.4.3 Berechnung von WGS 84 Punktdaten in dem Lokalen Threejs Koordinatensystem	38
6. Zusammenfassung	40
Literaturverzeichnis	42
Danksagung	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. 3D Webanwendung (Überblick)	21
Abbildung 2. Datenbanktabelle - "Wohnorte"	22
Abbildung 3. Datenbanktabelle - "Einrichtung"	22
Abbildung 4. Datenbanktabelle - "Routen"	22
Abbildung 5. Die Legende stellt die Farben von Walk Score dar.	24
Abbildung 6. Die Umgebung mit angepassten Filteroptionen	25
Abbildung 7. Einrichtungsüberblick	26
Abbildung 8. Die Erreichbarkeitskreisen	28
Abbildung 9. Die Einrichtung befindet sich im gelben Bereich und hat trotzdem eine sehr lange Strecke	30
Abbildung 10. Die Einrichtung befindet sich im roten Bereich und hat eine mittellange Strecke	30
Abbildung 11. Mehrere Einrichtungen liegen auf einer Strecke	31
Abbildung 12. Wie funktioniert Webpack	35
Abbildung 13. Die Position der Karte in der Threejs-Umgebung mit Ursprung [0,0,0] und dazugehörigen Achsen.....	38

Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
EDA	Event-Driven Architecture
EGM	Earth Gravitational Model
FCV	Fokus + Kontext Visualisierung
GBI	Geometry-based Isochrones
GIS	Geographic Information System
GPU	Graphics Processing Unit
HTML5	HyperText Markup Language v5
IBV	Isochrone-based Visualization
I/O	Input / Output
NBV	Network-based Visualization
NPM	Node Package Manager
ORM	Object-Relational Mapping
OSM	OpenStreetMap
RAFVINIERT	Das Projekt “Raumintelligenz für die integrierte Versorgung von Seniorinnen und Senioren in ländlichen Quartieren”
WebGL	Web Graphics Library
WGS	World Geodetic System
WMM	World Magnetic Model
WMS	Web Map Service
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr

1. Einleitung

1.1 Motivation

Der tiefgreifende demografische Wandel in Deutschland wird immer öfter diskutiert. Die Anzahl der Menschen im Rentenalter in der deutschen Bevölkerung nimmt in den letzten Jahrzehnten deutlich zu. Der steigende Teil dieser Bevölkerungsgruppe wird als problematisch gesehen. Für die älteren Menschen ist die Versorgung mit Nahrungs-, Lebens- und Arzneimitteln im Allgemeinen schwer. Der Weg zum Arzt könnte in manchen Fällen unsicher, kompliziert, oft zu weit oder sogar unmöglich sein, insbesondere für die Menschen, die in strukturschwachen Dörfern oder in einem Einfamilienhausgebiet wohnen.

In den Einfamilienhausgebieten oder in den wenig besiedelten und strukturschwachen Dörfern, in denen meistens die Seniorinnen und Senioren bleiben und der jüngere Teil wegzieht, kann es sehr wahrscheinlich zu einem Versorgungsdefizit kommen.

Ein Werkzeug, das für die Analyse der Versorgungssituation dieses betroffenen Teils von Menschen im Rentenalter genutzt wird und die Daten übersichtlich in einer interaktiven 3D-Webform darstellt, ist erstrebenswert. Ein Index, der die Erreichbarkeit bereitstellt, ist ein wichtiger Teil bei der Beobachtung und Schätzung eines gewünschten Gebiets. Dies wird den Raumplanern helfen, schlechte Erreichbarkeit und Versorgungsgängigkeit frühzeitig zu erkennen.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine interaktive Webanwendung darzustellen, die bei der frühzeitigen Erkennung von Versorgungsgängen bei Seniorinnen und Senioren hilft. Die Daten, die bei diesem Projekt benutzt werden, sind reale Daten im Kontext des Forschungsprojekts "RAFVINIERT". Diese beinhalten einen Erreichbarkeitsindex (Walk Score), welcher sich aus weiteren Daten zusammensetzt, welche ebenfalls visualisiert und gegebenenfalls kombiniert dargestellt werden können. Daraus kann abgeleitet werden, wie gut oder schlecht Menschen im Rentenalter die Versorgungseinrichtungen erreichen. Es sollen Visualisierungskonzepte auf Grundlage von Visualisierungsfragen erstellt werden und genauer untersucht. Beispielsweise ist die Walk Score Definition und wie wichtig ist der für die Erreichbarkeit, in welchen Bereichen leben viele ältere Menschen mit schlechter Erreichbarkeit, wie werden die Einrichtungen dargestellt und

wie werden die wichtigeren Einrichtungen erkannt. Welche Informationen liefern die Erreichbarkeitskreise und wie kann es bei der Einschätzung der Erreichbarkeit einer Einrichtung helfen, warum ist eine echte isochron-basierte Visualisierung von den Erreichbarkeitskreisen nicht möglich, welche Gehwege sind für die Versorgung von Seniorinnen und Senioren besonders relevant, können mehrere Einrichtungen mit einer Strecke erreicht werden und welche sind die Vor- und Nachteile dieser 3D-Webanwendung gegenüber einer 2D-Darstellung.

Zudem können die Behörden die gelieferten Daten in der interaktiven 3D-Webanwendung schneller und präziser analysieren und auswerten.

1.3 Vorgehensweise

Zu Beginn der Arbeit wird das Thema eingeführt. Danach wird einen Überblick über das Themenfeld gewonnen und es werden wissenschaftliche Arbeiten analysiert. Diese Fachartikel beschreiben verschiedene Visualisierungstechniken und antworten wichtige Visualisierungsfragen anhand von Beispielen. Es wird eine Einführung in die 3D-Webanwendung gemacht und deren Eigenschaften werden systematisch vorgestellt. Die Datengrundlagen und Web Map Service werden als Nächstes behandelt. Die Visualisierungskonzepte des Projekts werden auf Grundlage von Visualisierungsfragen ausführlich untersucht. Dabei werden auch die Vor- und Nachteile dieser Webanwendung dargestellt. Es folgt die Implementierung, in der die benutzten Technologien für dieses Projekt genannt werden und es wird gezeigt, warum die für die Anwendung geeignet sind. Es wird erklärt, wie die Karten in die Umgebung integriert werden können, welche Koordinatensysteme verwendet werden und wie die Daten von einem Koordinatensystem (WGS84) in einem anderen (Threejs) umgewandelt werden.

Zum Schluss wird gezeigt, warum der Raumplaner anhand dieser dreidimensionalen Webanwendung eine bessere und präzisere Auswertung der Daten machen kann. Dazu werden auch Vorschläge für eine zukünftige Verbesserung gemacht.

2. Einführung in das Thema

Die Visualisierung stellt eine Form der visuellen Kommunikation dar, die durch die Umwandlung von nicht visuellen Daten in Objekte gekennzeichnet wird. Diese Objekte sollen für den menschlichen Verstand zugänglich sein. Das Hauptziel der Visualisierung ist die wirksame Kommunikation von Daten, wobei der Schwerpunkt auf visuellen Elementen liegt, aber nicht darauf begrenzt ist. Daten können auf verschiedene Art und Weise dargestellt werden und können sich nach deren Eigenschaften wie Struktur, Dimension oder Quelle unterscheiden (Dübel et al., 2014). Daten sind heutzutage in Bezug auf deren Dimension sehr wichtig für verschiedene Anwendungsbereiche. Räumliche Daten (oder Geodaten) werden als Daten definiert, die Informationen über Objekte, Ereignisse oder Phänomene liefern und einen Standort auf der Erdoberfläche besitzen. Sie sind eine Kombination von Standortinformationen, Attributinformationen und zeitlichen Informationen. Die Standorte können sowohl kurzfristig statisch als auch dynamisch sein (Stock & Guesgen, 2016). Die räumlichen Daten können in 2D- oder in 3D-Ansicht dargestellt werden, aber es ist oft schwer zu entscheiden, welche der Ansichten besser geeignet ist.

Eine bekannte Methode zur Darstellung von räumlichen Daten ist die zweidimensionale Visualisierung. Seitdem in den letzten Jahren die Rechen-, Leistungs- und Renderingskapazitäten der Hardware gestiegen sind, werden Daten in 3D-Ansicht öfter präsentiert. Die 3D-Modelle und Visualisierungen werden bei verschiedenen Fragestellungen eingesetzt, wie z.B. Vorhersage von zukünftigen Entwicklungen, Krisen- und Energiemanagement, Stadtplanung, Umweltschutz usw. (Herman & Řezník, 2015). Solche Geodaten werden nicht nur in Desktop-Anwendungen dargestellt, sondern auch in Web-basierten Anwendungen.

Die Geodaten werden bei der Erstellung von Erreichbarkeitskarten verwendet. Diese können ein leistungsfähiges Mittel sein, das bei der Untersuchung eines Standortes helfen kann. Die Erreichbarkeit wird als ein problemloser Zugang zu Waren, Dienstleistungen, Aktivitäten oder Orten gekennzeichnet (Keler et al., 2019). Das soll für eine bessere Lebensqualität der Menschen sorgen. Das Hauptziel der Erreichbarkeitsanalysen ist, Informationen darüber zu liefern, ob alle Orte in einem Gebiet von einem Startpunkt zu erreichen sind (Listemann et al., 2019).

Eine Visualisierung in 3D kann eine entscheidende Rolle beim Monitoring von Ortschaften spielen. Der tiefgreifende demografische Wandel ist eine Voraussetzung für die Entwicklung von

verschiedenen Werkzeugen, die in diesem Bereich eingesetzt werden können. In den Einfamilienhausgebieten oder in den wenig besiedelten und strukturschwachen Dörfern bleibt meistens der ältere Teil der Bevölkerung, der zusätzliche Unterstützung benötigen könnte, um eine bessere Lebensqualität zu haben. In solchen Fällen kann es zu Versorgungsdefiziten kommen. Um diese Versorgungslücken frühzeitig zu erkennen, werden verschiedene Erreichbarkeitsanwendungen entwickelt. Anwendungen dieser Art werden mithilfe von zahlreichen Visualisierungstechniken geschafft. Ein Teil dieser Techniken wird in dem folgenden Abschnitt behandelt und anhand von realen Beispielen veranschaulicht. Außerdem stellt dieses Projekt ein Werkzeug vor, das Erreichbarkeitsdaten interaktiv in einer dreidimensionalen Webanwendung präsentiert, die das Monitoring von strukturschwachen Orten erleichtert. Zudem kann der Betrachter die gelieferten Daten präziser analysieren und auswerten.

3. Stand der Technik

Im Rahmen dieses Kapitels werden verschiedene Literaturquellen untersucht, die sich mit einem ähnlichen Thema beschäftigen. Es werden diese Literaturquellen genauer betrachtet, die die Grundlagen von Visualisierungskonzepten beschreiben.

3.1 2D and 3D Presentation of Spatial Data: A Systematic Review

Die zwei- und dreidimensionalen Visualisierungstechniken haben unterschiedliche Vor- und Nachteile. Im Allgemeinen ist es schwer, zu entscheiden, welche von den beiden verwendet werden soll. In diesem Fachartikel von Dübel et al. (2014) wird eine detaillierte Systematisierung von Attributraum und Referenzraum und deren Dimensionalität auf Grundlage von Darstellungsmerkmalen aufgestellt. Dabei werden wahrnehmungsbezogene und technische Aspekte wie Verdeckung, Unordnung, Verzerrung oder Skalierbarkeit berücksichtigt. In den letzten Jahren wird der größte Teil der verfügbaren Daten als Geodaten oder als raumbezogene Daten interpretiert. Um diese Daten zu visualisieren, sollen wichtige Faktoren wie Komplexität der Daten, die Anzeigetechnologie, die Aufgabe oder der Anwendungskontext beachtet werden.

Laut Dübel et al. (2014) erfolgt der Prozess der Visualisierung auf der Datenebene (*data space*) und auf der Darstellungsebene (*presentation space*). Zum besseren Verständnis der Begriffe - “Data space” und “Presentation space” schlagen sie die folgenden Definitionen vor. Der grundlegende Teil einer Visualisierung sind Daten, die sich im Bezug auf verschiedene Eigenschaften wie Struktur, Dimension oder Quelle unterscheiden können. Die entscheidenden Eigenschaften für eine Darstellung sind die raum-zeitlichen (*spatio-temporal*), multidimensionalen (*multivariate*), multimodalen (*multi-modal*), mehrländigen (*multi-run*) und multimodellen (*multi-model*) wissenschaftlichen Daten (Dübel et al., 2014, nach Kehrer et al., 2013). Die räumlichen Daten sind immer mit einem räumlichen Bezug charakterisiert und es werden Beobachtungspunkte definiert, die mit bestimmten Datenwerten verbunden sind. Keller und Keller (1993) unterscheiden zwischen unabhängigen Variablen (v - z.B. Koordinaten im Raum) und abhängigen Variablen (d - Datenwerte, wie z.B. Temperatur oder Geschwindigkeit). Die unabhängigen Variablen geben einen n -dimensionalen Referenzraum und die abhängigen Variablen einen m -dimensionalen Attributraum an. Für die räumlichen Daten ist der Referenzraum 2D oder 3D, während der Attributraum

multidimensional sein kann. Die Darstellungsebene (*presentation space*) wird durch visuellen Variablen charakterisiert (Dübel et al., 2014, nach Bertin 1983). Dabei sollen einige Aspekte beachtet werden wie z.B: das Erscheinungsbild, der Datentyp der Visualisierungsartefakten, der Zeitumgang durch statische oder dynamische Ansätze sowie die Dimension der Darstellung. In diesem Fachartikel konzentrieren sich die Autoren auf den dimensionalen Aspekt. Die Darstellungsebene besteht aus grafischen Elementen, die durch visuellen Variablen z.B. Form, Farbe, Größe und Textur dargestellt werden. In 2D-Visualisierungen werden nur Punkte, Linien und Polygone verwendet. Im Vergleich dazu werden die 3D-Visualisierungen aus 3D-Grafikelementen wie z.B. Freiformflächen (*freeform-surfaces*) oder Körpern zusammengesetzt. Darüber hinaus wird festgestellt, dass die Unterscheidung von 2D und 3D nicht mehr ausreichend ist, sondern muss zwischen den Darstellungen des Attributraums und des Referenzraums unterschieden werden. In diesem Fachbeitrag wurde eine Systematisierung vorgeschlagen, die aus einer Kombination von 2D- und 3D-Darstellungen des Attributraums ($A[i]$) und des Referenzraums ($R[j]$) besteht. Wobei die Attribute durch $[i]$ -dimensionale und der Referenzraum durch $[j]$ -dimensionale grafische Elementen visualisiert werden. Die bestehenden Visualisierungstechniken können in folgenden Kategorien geteilt werden:

$A[2] + R[2]$:

- 2D grafische Elemente innerhalb der 2D-Referenzraum.
- Projektion von Elementen ist nicht erforderlich.
- Keine Verdeckung, wenn die Größe der Darstellungsbereich (display space) beabsichtigt wird.
- Nachteil: Verzerrungen können auftreten, im Fall eines georäumlichen Referenzraum, da die Erdoberfläche gekrümmmt und ungleichmäßig ist und kann bei größeren Maßstäben erkannt werden.
- Beispiele: Kartografische Karten für ÖPNV oder landwirtschaftliche Nutzung; 2D-Wetterkarten.

$A[2] + R[3]$:

- Attributraum (Datenwerte) in 2D und Referenzraum in 3D.
- Datenwerte werden in räumlichem 3D-Kontext dargestellt.
- Untersuchung der Struktur eines 3D-Referenzraums ist möglich.
- Nachteil: Verdeckung durch die 3D-Darstellung des Referenzraums verursacht.

- Beispiele: Darstellung von hydrologischen Daten; Flugsimulationen; Virtuelle Stadttouren.

A[3] + R[2]:

- Attributraum (Datenwerte) in 3D und Referenzraum in 2D.
- Referenzraum ist typischerweise eine Karte.
- Datenwerte in Form von 3D-Diagrammen, Symbolen und komplexen Objekten.
- Nachteil: Verdeckung von Datenwerten in 3D.
- Beispiele: wissenschaftliche meteorologische Analyse.

A[3] + R[3]:

- Attribut- und Referenzraum in 3D.
- Ermöglicht eine natürliche Wahrnehmung der Struktur des Attributraums sowie des Referenzraums.
- Nachteil: Verdeckung, verursacht durch die große Datendichte.
- Beispiele: 3D-Wetterkarten; globale Klimanetzwerkdaten (global climate network data); 3D-Visualisierungen von Wirbelstürmen;

Zusammenfassend wird festgestellt, dass eine Verdeckung oder eine Verzerrung bei allen vier Kategorien auftreten kann. Außerdem wird es behauptet, dass es bei der Verwendung von 3D schwierig sein kann, die Elemente des Attributraums richtig zu positionieren und diese mit dem Referenzraum richtig anzupassen.

Durch diese Kategorisierung der Visualisierungstechniken können die Vor- und Nachteile und die Auswirkungen von 2D- und 3D-Darstellungen identifiziert werden. Das kann eine wichtige Rolle dabei spielen, die Entscheidung zu treffen, welches Visualisierungsdesign effektiver für den bestimmten Fall ist.

3.2 Network-based Visualisation of Accessibility for a Public Transport System

In den letzten Jahren sind die Rechen- und Renderingskapazität besser und leistungsfähiger geworden, was die Visualisierung von großen Datenmengen ermöglicht. Je nach Anwendungsfall muss die Entscheidung getroffen werden, ob eine 2D- oder eine 3D-Visualisierung passender ist. In dem Fachbeitrag von Keler et al. (2019) wird ein Beispiel für Modellierung von Veränderungen in der netzbasierten Erreichbarkeit in Augsburg beschrieben. Wegen eines Umbaus und die daraus resultierende Umleitung von dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) soll es zu Abweichungen gekommen sein und somit wurde die Erreichbarkeit der Innenstadt beeinflusst. Für die Analyse der Erreichbarkeitsveränderung wurden OpenStreetMap (OSM), farbcodierte Erreichbarkeitskarten und 3D-Realkarten verwendet.

Wie bereits erwähnt wurde, hängt es von dem Fall ab, ob eine 2D- oder eine 3D-Visualisierung besser geeignet ist. In diesem Artikel wird eine systematische Übersicht über zwei- und dreidimensionale räumlichen Datenvisualisierungsansätze (Keler et al., 2019, nach Dübel et al., 2014) gemacht. Für die Unterscheidung zwischen den Visualisierungsansätzen werden die Attribut- (A_i) und Referenzräumen (R_j) und deren Dimensionalität betrachtet. Diese können in vier verschiedenen Arten kombiniert werden. Eine Visualisierung kann einen zweidimensionalen Attributraum und einen zweidimensionalen Referenzraum ($A_2 + R_2$), einen zweidimensionalen Attributraum und einen dreidimensionalen Referenzraum ($A_2 + R_3$), einen dreidimensionalen Attributraum und einen zweidimensionalen Referenzraum ($A_3 + R_2$) oder einen dreidimensionalen Attribut- und einen dreidimensionalen Referenzraum ($A_3 + R_3$) haben (Keler et al., 2019). In einer 2D-Karte wird normalerweise eine Kombination von $A_2 + R_2$ verwendet. Um eine Struktur realistischer darzustellen, wird eine Kombination von $A_3 + R_3$ benutzt. Als Nachteil dieser Visualisierungsmethode wird das Verdecken von Elementen durch die hohe Dichte der Daten beschrieben.

Laut den Autoren ist die häufigste zweidimensionale Darstellung von Reisezeiten die Verwendung von isochronen Karten. Dabei werden Gebiete mit gleicher Reisezeit in einer gleichen Weise visualisiert, was aber keine genaue Schätzung der Reisezeit ermöglicht. Abschließend ist zu berücksichtigen, dass diese Visualisierungsmethode sehr zeitaufwendig ist. Die netzbasiierenden Daten wie Gehgeschwindigkeiten und Wartezeiten an Kreuzungen müssen verfeinert werden, aber

diese liefern einen guten Überblick über die Erreichbarkeit (Keler et al., 2019, nach O’Sullivan et al., 2000).

Als Nächstes wird die Anwendung der 3D-Geovisualisierung betrachtet. Es wird behauptet, dass eine dynamische und interaktive Modellierungsumgebung in GIS die flexiblere Analyse von Daten im Bereich des Verkehrswesens erleichtert. Anhand einer dreidimensionalen Visualisierung können verschiedene Parameter, die Ansichten und das Datenabfragen verändert werden. Das Wichtigste bei dieser Art von Visualisierung ist die Verarbeitung von großen Mengen an geografischen Daten. Dabei werden verschiedene Datenformate in einer geografischen Datenbank transformiert. Das ermöglicht eine realistische Darstellung von städtischen Umgebungen. Außerdem wird durch diese 3D-Visualisierungsmethode eine weitere Möglichkeit bereitgestellt, Animationen oder Rundfahrten innerhalb der Daten durchzuführen.

Um den Fall in Augsburg besser zu untersuchen, machten die Autoren eine 2D-Analyse der Erreichbarkeit und führten eine 3D-Analyse des ÖPNV anhand der Parametern “Fahrzeit” und “Anzahl der Linien” durch. Schließlich wurde einen Erreichbarkeitsindex als Durchschnitt der beiden Parametern für jede Haltestelle berechnet. Die durchgeführte Erreichbarkeitsanalyse schaffte einen Überblick über die Erreichbarkeit des ÖPNV in Augsburg. Die Kombination aus 2D- und 3D-Analyse lieferte wertvolle Informationen über die Veränderung der Erreichbarkeit und half bei der allgemeinen Schätzung der Situation in der Stadt.

3.3 Lens-based Focus+Context Visualization Techniques for Interactive Exploration of Web-based Reachability Maps

In diesem Fachartikel von Listemann et al. (2019) wurden verschiedene Erreichbarkeitskarten vorgestellt, die dabei helfen sollen, einen bestimmten Standort besser zu untersuchen. Um das zu ermöglichen, wurden Web-basierte Darstellungen von Erreichbarkeitskarten verwendet. Sie sind schnell und interaktiv und dienen dazu, dem Benutzer einen guten Überblick zu verschaffen und nützliche Informationen zu liefern. Die beiden grundlegenden Ansätze für die Visualisierung von Erreichbarkeitsdaten, die in diesem Fachartikel betrachtet wurden, sind die isochrone Visualisierung (Isochrone-based Visualization - IBV) und die Netzwerk-basierte Visualisierung (Network-based Visualization - NBV). Es mag jedoch für den Benutzer schwierig sein, die relevanten Informationen aus der Karte zu entnehmen, da diese Ansätze Herausforderungen mit sich mitbringen könnten. Bei

der isochronen Visualisierung fehlt ein detaillierter Blick auf das Netzwerk, was zu Interpretationsfehlern in dem ausgewählten Gebiet führen kann. Im Gegensatz dazu haben die Netzwerk-basierten Darstellungen einen höheren Detaillierungsgrad, beeinträchtigen den schnellen Überblick über den untersuchten Bereich und führen zu Interpretationsprobleme bei niedrigen Vergrößerungsstufen. Außerdem basiert die Erzeugung von Isochronen mit konventionellen Methoden auf der Berechnung von geometrischen Daten. Das erfordert einen umfangreichen Datentransfer zwischen Server und Client, der mit Latenzen verbunden sein könnte.

In diesem Fachbeitrag wird von den Autoren ein neuer Ansatz präsentiert, der die beiden erwähnten Methoden miteinander kombiniert. Diese neue Methode ist als “Magic Lens” bekannt und wird als eine Web Map Anwendung mit WebGL und HTML5 entwickelt, um eine schnellere GPU-Leistung zu gewährleisten. Die Magic Lens ist ein Fokus- und Kontextvisualisierung und ermöglicht die Entnahme von relevanten Informationen für den Benutzer aus Fokusbereichen, die in eine Kontextansicht eingebettet sind. Die Focus+Kontext Visualisierung (FCV) für Web-basierte Erreichbarkeitskarten solle die Daten so darstellen, dass der Benutzer sowohl eine detaillierte als auch eine kompakte Abbildung in einer Ansicht bekommt. Focus+Kontext Anwendungen sollen dem Benutzer eine Interaktion in Echtzeit bieten. Der Benutzer soll auch in der Lage sein, einen Fokusbereich selbst zu definieren. Außerdem sollte die Anwendung eine alternative Methode zur Server-basierten Erzeugung von Geometrie-basierten Isochronen (Geometry-based Isochrones - GBI) bereitstellen. Das sollte dazu dienen, die Datenübertragung und den Aufwand für die Verarbeitung zu reduzieren. Es ist auch besonders wichtig, dass eine grafische Benutzeroberfläche vorhanden ist. Die Magic Lens Technik bietet eine detaillierte Darstellung von Erreichbarkeitsinformationen (Network-based Visualization) innerhalb der Abbildungsgrenzen zusammen mit einer generellen Ansicht (Isochrone-based Visualization).

3.4 Drawing Road Networks with Focus Regions

In der Internet- und mobile Kartografie werden oft Kartenprojektionen mit verschiedenem Maßstab verwendet, die eine Darstellung einer Fokusregion detailliert anzeigen können. In solchen Projektionen werden auch weiter entfernte Regionen auf derselben Karte, aber in kleinem Maßstab dargestellt.

In dem Fachartikel von Haunert und Sering (2011) wird darüber diskutiert, dass die Verwendung von verschiedenen Maßstäben für dieselbe Karte zu Verzerrungen führen kann. Bei solchen verzerrten Karten wird es dann unmöglich, die Entfernung zu messen, was eigentlich nicht immer wichtig ist. Solche Karten, die die exakte Entfernung nicht anzeigen, sind zum Beispiel U-Bahn-Karten, Routenkarten und Zielkarten. Das sind solche Darstellungen, die den Weg schematisch zu einem bestimmten Ziel veranschaulichen sollten. Aus diesem Grund werden solche Karten als schematische Karte in diesem Artikel bezeichnet. Die Verzerrungen, die üblicherweise bei geografischen Karten typisch sind, entstehen dabei aus einem angewandten Konstruktionsprinzip.

In den Karten mit veränderlichen Maßstäben wird jeder Punkt von der Ebene (die Position eines Objekts auf der geografischen Karte) auf einen zweiten Punkt (die Position des Objekts auf der projizierten Karte) abgebildet. Um das zu ermöglichen, wird normalerweise die Fischaugenansicht (*Fish-eye view*) verwendet. Die vorhandenen Abbildungsfunktionen gewährleisten einige wichtige und grundlegende Eigenschaft, wie zum Beispiel die Beibehaltung des unverzerrten Fokusbereichs. In diesem Fachartikel wird eine optimierungsbasierte Methode für die Visualisierung von Straßennetzen vorgestellt. Das Hauptziel ist, die Verzerrungen zu minimieren.

Die Fish-Eye Ansichten werden oft bei der Kartografie von Städten verwendet. Die Städte sind in den Stadtzentren meistens dicht bebaut und deswegen werden sie in einem größeren Maßstab als die Stadtrandgebiete kartiert. Die Fischaugen Technik wird in den letzten Jahren immer häufiger für die Darstellung von Karten auf kleinen Displays eingesetzt, wie zum Beispiel bei der Autonavigation.

Die neue Methode zur Vergrößerung einer benutzerdefinierten Fokusregion in einem Straßennetz, die in diesem Fachartikel vorgestellt wurde, stellt sicher, dass die Karte auch mit der vergrößerten Fokusregion innerhalb des ursprünglichen Rahmens passt. Dabei werden einige Teile des Netzes verkleinert, was zu Kartenverzerrungen führt. Um diese zu verringern, haben die Autoren die neue Methode angewandt und haben die Ergebnisse dann mit einer bestehenden klassischen Fischaugenansicht verglichen. Es wurde festgestellt, dass die neuartige Technik die Verzerrungen an den Straßensegmenten deutlich minimiert.

3.5 Web-based Visualization of Transportation Networks for Mobility Analytics.

Die Mobilitätsanalyse (*MA - Mobility Analytics*) ist für verschiedene Anwendungsfällen wichtig und wird nicht nur von ausgebildeten Fachkräften und GIS-Experten verwendet, sondern auch von Beschäftigten in der Stadtplanung, Geschäftsführern und privaten Nutzern. Als Mobilität wird die Bewegung von Menschen und Gütern bezeichnet und sorgt für eine angemessene Lebensqualität und eine funktionierende Wirtschaft.

Mobility Analytics kann dabei helfen, Mobilitätsinformationen besser zu verstehen, indem sie Echtzeit-Abfragen mit visuellen Analyseansätzen kombiniert, um vorhersagende Analyse (*predictive analytics*) zu ermöglichen. Konkrete Anwendungsfelder für diese Methode sind z.B. Immobilienstandort- (*real-estate location*) und Objektanalyse, Verkehrsinfrastrukturplanung und Optimierung, die touristische Branche usw.

Um die Mobilitätsanalyse durchzuführen und die Daten zu visualisieren, werden heutzutage Desktop-GIS Anwendungen verwendet, was im alltäglichen Leben nicht einfach anwendbar ist. Dieser Prozess wird aufgrund der Datenverfügbarkeit und des Datenzugriffs sowie des erforderlichen Fachwissens des Nutzers beeinträchtigt. Im Gegensatz dazu bietet die Server-basierte Erreichbarkeitsanalyse in Kombination mit einer interaktiven Web-basierten Visualisierung für die Erreichbarkeitskarten verschiedene Vorteile. Auf diese Weise ist die Visualisierung auf verschiedene Geräte verfügbar und größere Datensätze werden nicht vollständig übertragen, gespeichert oder verwaltet. Außerdem ist die Implementierung von Web-Services und WebGL in bestehenden Systemen und Frameworks leicht durchzuführen.

In diesem Fachartikel von Schoedon et al. (2019) konzentrieren sich die Autoren auf die Visualisierung der Reisezeiten direkt auf den jeweiligen Merkmalen des Verkehrsnetzes und nicht auf Polygone (Schoedon et al., 2019, nach Glander et al., 2010) oder spezielle grafische Layouts (Schoedon et al., 2019, nach Krause et al., 2012). Dadurch werden die Reisedaten auf das georeferenzierte Verkehrsnetz genau kartiert (*precise mapping*). Die Verwendung von traditionellen Visualisierungsansätzen im Webbrowser wird entweder mit den vordefinierten statischen Filterung und Abbildung (*raster data*) oder mit rechenintensiven Renderingprozessen (*vector data*) verbunden. Diese zwei Verfahren sind grundlegend und effektiv, aber haben auch Nachteile. Beispielsweise erfordern die Rasterdaten keine kundenseitige Verarbeitung vor dem Rendern. Sie können komprimiert und zwischengespeichert werden, aber der Kunde kann diese Daten nicht

darstellen und filtern, ohne die Karte komplett neu zu laden. Im Gegensatz dazu ermöglichen die Vektorformate kundenseitige Filterung, Kartierung und Rendering. Dabei werden die Datenverarbeitung und das Rendering auf der CPU anhand von Javascript Algorithmen durchgeführt, was eine große Auswirkung auf die Leistung hat.

Die Autoren stellen einen neuartigen Ansatz zur interaktiven Visualisierung von hoch detaillierten Verkehrsnetzen im Webbrowser vor. Sie verwenden eine client-server Softwarearchitektur, die auf *Vector-Tiling*-Ansatz basiert, und spezifische Techniken für Erreichbarkeitskarten zur Mobilitätsanalyse (*mobility analytics*). Außerdem werden in diesem Artikel ähnliche wissenschaftliche Arbeiten von anderen Autoren als Beispiel gegeben. Die werden als Nächstes kurz erwähnt.

- Visualisierung anhand von Erreichbarkeitskarten: Die Verkehrskarten und Erreichbarkeitskarten werden verfeinert. Zum Beispiel: die Erleichterung bei der Bewertung der wirtschaftlichen Machbarkeit von Flughäfen in South Hampshire.
- *TimeContours*: eine Java Anwendung, die die Transportkosten in Abhängigkeit von der benötigten Reisezeit anhand von Isochronen darstellt.
- Eine Visualisierungstechnik für Erreichbarkeitskarten: Polygon-basierte Ansätze im Bereich des öffentlichen Verkehrs und Raster-basierten Entfernungstransformationen.
- Webanwendungen für Mobilitätsanalyse: Visualisierung von Erreichbarkeitskarten z.B. *Travel Time Tube Map, Mapumental, How Far Can I Travel, TimeMaps NL, IsoChrone.ch* usw.

In dieser Literaturquelle wird die Server-Client-Architektur schematisch dargestellt. Das Hauptziel ist, die Kunden zu erleichtern, indem die Aufgaben wie Filterung, Vorverarbeitung (*preprocessing*) und Mapping von dem Server durchgeführt werden. Das Backend besteht aus Database-Server, Tiling-Server und Routing-Server. Diese drei Komponenten dienen zur Vorverarbeitung von Daten, Netzwerkfilterung, Geometrie-Mapping und Umgang mit den Client-Anfragen. Danach soll eine *Color Mapping* und *Network Rendering* von Seiten des Kunden durchgeführt werden. Das Rendering erfolgt auf GPU unter Einsatz von WebGL und das ermöglicht höhere Echtzeit-Leistung von komplexen Datensätzen.

Beispiel für solche Anwendungen sind: Business Location Finder, Property Market Analysis und Spare-time Activity Planning.

4. Visualisierungskonzept

Es ist bekannt, dass eine prägnante und gleichzeitig eine verständliche kartografische Darstellung in der Lage ist, intuitiv räumliche Informationen den Beobachtern zu vermitteln (Zenner et al., 2008). Deswegen findet heutzutage die dreidimensionale Visualisierung räumlicher Daten nicht nur in Desktop-Programmen eine sehr große Verbreitung, sondern auch in viele weiteren Webanwendungen. Die Grundidee solcher Systeme ist den Nutzern zu erlauben, ihre Daten interaktiv durch zusätzliche Werkzeuge, zeitliche Steuerung, verknüpfte Menüs und zahlreiche andere Ansichten zu untersuchen. Diese Systeme bieten den Benutzern Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Ereignissen zu finden und darüber hinaus bessere Hypothesen aufzustellen oder Ereignisse zu erkennen, welche in der Zukunft vorkommen könnten (Maciejewski et al., 2011).

In diesem Kapitel wird eine Einführung in der Anwendung gemacht und es werden auch alle speziellen Eigenschaften der Webanwendung systematisch vorgestellt. Es wird über die Datengrundlagen gesprochen, es wird erklärt, was ein WMS ist und warum er für dieses Projekt wichtig ist. Es werden mehrere Visualisierungskonzepte des Projekts auf Grundlage von Visualisierungsfragen dargestellt und genauer untersucht.

4.1 Einführung in der 3D-Webanwendung

Die 3D-Webanwendung besteht aus zwei Hauptteile - eine interaktive 3D-Umgebung als Fokus in der Mitte und Menüs auf der Seite (siehe Abbildung 1). Das Hauptmenü befindet sich oben links, eine Legende unten links und oben rechts eine dynamische Detailsektion, die beim Auswählen eines Elements eingeblendet bzw. beim Zurücksetzen ausgeblendet wird. Die Umgebung kann mit der linken, mittleren oder rechten Maustaste gesteuert werden, sowie Ihrer Bewegung - Bewegen, Vergrößern, Verkleinern und Drehen. Die Anwendung enthält eine reale Karte, die einen von "RAFVINIERT" Untersuchungsgebiete - Kaiserslautern und Tirschenreuth darstellt, Säule - die einen Wohnort entspricht (dessen Größe 100x100m ist) oder eine Einrichtung repräsentiert, Linien, die eine Route von Wohnort zu einer Einrichtung darstellen und Kreise, die die Länge der Routen in drei Stufen zeigen - nah, mittel oder weit entfernt.

Mit dem Hauptmenü wird die Umgebung gefiltert und neu angepasst. Es besteht aus 5 Abschnitten: Auswahlmenü für Landkreise, Durchsichtigkeit der Säulen, Sortierung der Größe der Säulen und neue Farbe der Säulen definieren. Die Legende stellt eine bessere für die Säulen Übersichtlichkeit dar, in welchem Bereich sich den ausgewählten Wohnort oder die ausgewählte Einrichtung mit den definierten in dem Hauptmenü entsprechenden Optionen befindet.

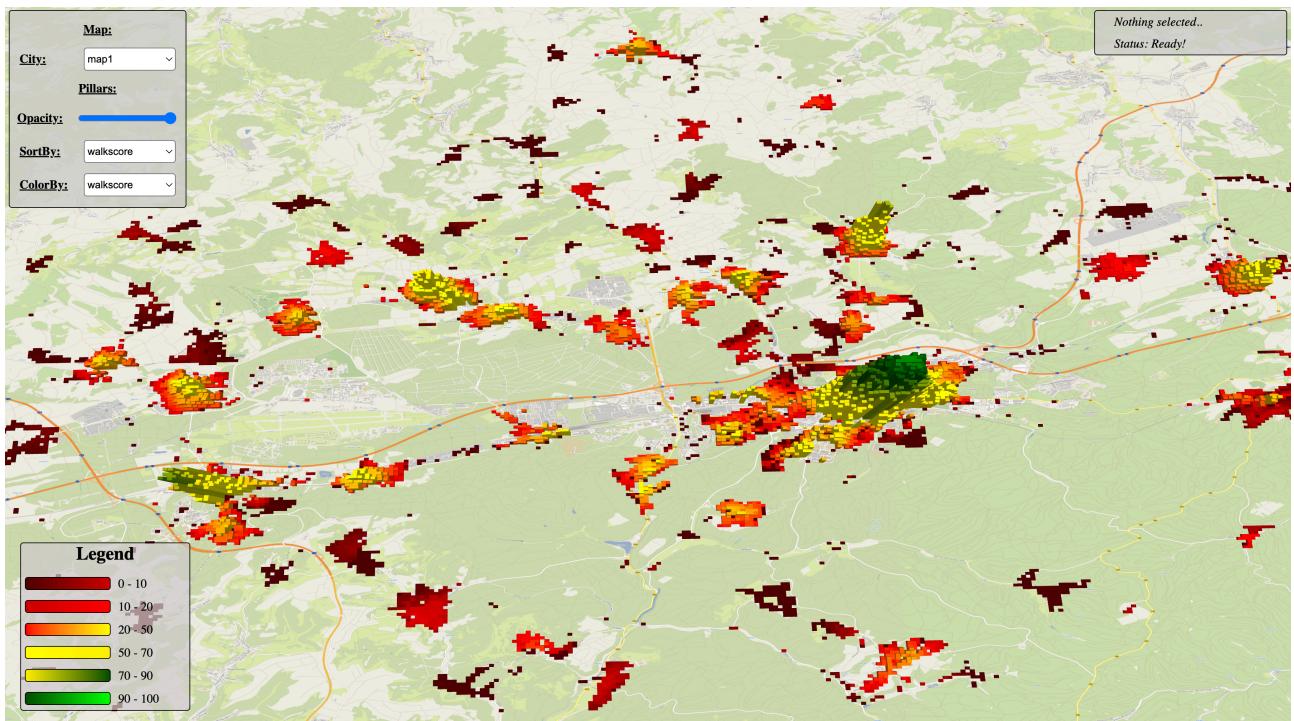


Abbildung 1. 3D Webanwendung (Überblick)

Wenn eine Säule (ein Wohnort) ausgewählt wird, wird der dynamische Detailabschnitt gezeigt. Dieser Abschnitt hat zwei Unterabschnitte - Ereignisabschnitt und Informationsabschnitt. In dem Ereignisabschnitt kann den Wohnort erweitert werden - alle Einrichtungen zu diesem Wohnort und die dazugehörigen Strecken werden gerendert, die ausgewählte Säule zurücksetzen oder, wenn ein Wohnort erweitert ist, können auch die sogenannten "Erreichbarkeitskreisen" gezeigt werden. Der zweite Abschnitt ist der Informationsabschnitt, wo alle nötigen für den selektierten Wohnort Informationen wie: Walk Score (siehe Abschnitt 4.4.1), Anzahl der Senioren, genaue geografische Position - Latitude und Longitude und die Farbe der Säule aufgelistet sind.

Wenn eine Einrichtung ausgewählt ist, werden wieder die oben zwei genannten Abschnitte - Ereignisabschnitt und Informationsabschnitt gezeigt. Unter dem Ereignisabschnitt kann die Strecke von dem Wohnort bis zur Einrichtung dargestellt werden, wobei die Strecke eine andere Farbe übernimmt und vertikal angepasst wird. Unter dem Informationsabschnitt werden alle

Informationen über die Strecke und die Einrichtung wie: Name, Typ, die genaue geografische Position - Latitude und Longitude, Länge der Route und originale Farbe der Einrichtung dargestellt. In dem dynamischen Abschnitt ganz unten ist ein Status des Systems zu finden, der über die Hintergrundprozesse informiert.

4.2 Datengrundlage

Die notwendigen Daten für dieses Projekt sind reale Daten im Kontext des Forschungsprojekts „RAFVINIERT“. An das Projekt „Raumintelligenz für die integrierte Versorgung von Seniorinnen und Senioren in ländlichen Quartieren (RAFVINIERT)“ arbeitet das Institut „i3-mainz“ in einer Kooperation mit vielen verschiedenen Partnern und es wird durch die Carl-Zeiss-Stiftung gefördert. Als Basis für diese 3D-Webanwendung werden 3 Typen von Daten gebraucht - Wohnorte, Einrichtungen und Routen. Die Wohnortsdaten bestehen aus einer einzigartigen ID, die für die spätere Sortierung von Routen benötigt wird, die Anzahl der Senioren, Walk Score (siehe Abschnitt 4.4.1), geografische Koordinaten (Koordinatensystem WGS 84 - siehe Abschnitt 5.4.2) und deren Typ.

id integer		n_seniors integer		walkscore double precision		geom geometry	
----------------------	--	-----------------------------	--	--------------------------------------	--	-------------------------	--

Abbildung 2. Datenbanktabelle - “Wohnorte”

Die Einrichtungen besitzen eine einzigartige ID, einen Namen, einen Einrichtungstyp, geografische Koordinaten (WGS 84) und einen Typ der Koordinaten.

id integer		name character varying		type character varying (100)		geom geometry	
----------------------	--	----------------------------------	--	--	--	-------------------------	--

Abbildung 3. Datenbanktabelle - “Einrichtung”

Die Routen bestehen aus einer einzigartigen ID, die ID eines Wohnorts, die ID einer Einrichtung und die Koordinaten (WGS 84) der Route und deren Typ.

id_wohnort integer		id_einrichtung integer		geom geometry			id integer	
------------------------------	--	----------------------------------	--	-------------------------	--	--	----------------------	--

Abbildung 4. Datenbanktabelle - “Routen”

4.3 Web Map Service

Web Map Service (oder auch als WMS bekannt) ist ein spezieller Webservice, der der Visualisierung von Geodaten dient. In einem WMS können sowohl Vektor- als auch Rasterdaten verwendet werden. Nach einer Abfrage werden die Ergebnisse vom WMS auf einem Kartenausschnitt dargestellt, die ein einfaches Raster-Grafikformat hat.

Es existieren heutzutage viele, sowohl bezahlbare als auch kostenlose, Web Map Services. Für dieses Projekt werden die WMS Dienste von “terrestris” benutzt, weil die präsentierten von Ihnen Daten von einem OpenStreetMap - Projekt geliefert werden und kostenlos sind. Ein anderer und sehr wichtiger Vorteil für die Verwendung dieses Dienstes sind die wöchentliche Updates und die Abdeckung der ganzen Welt. Das Ziel der Verwendung dieses Dienstes ist eine Erstellung eines präzisen Kartenausschnitt, für den Start- und Endpunkten (Latitude und Longitude) vorgegeben sind, zu bekommen und in der Webanwendung zu integrieren. Mit den entsprechenden Konfigurationen in einem GET Request werden die Kartenausschnitte schnell von den entsprechenden Landkreisen (Kaiserslautern und Tirschenreuth) im Webbrowser erstellt. Nach der Erstellung werden die generierten Abbildungen heruntergeladen und für die Webanwendung in dem Projektverzeichnis gespeichert.

4.4 Visualisierungsfragen

4.4.1 Was ist Walk Score und wie wichtig ist der für die Erreichbarkeit?

“Walk Score” ist eine Einheit, die die Erreichbarkeit beschreibt und im Intervall von 0 (schlechte Erreichbarkeit) bis 100 (gute Erreichbarkeit) liegen kann. Walk Score kann für jeden beliebigen Punkt (Wohnort) berechnet werden und wurde zwecks Vereinfachung vorerst für Gitterpunkte berechnet. Es befindet sich in der entsprechenden Datenbanktabelle und wird direkt in der Anwendung dargestellt, ohne dass es neu berechnet werden muss. Walk Score wird größer berechnet, solange die Routen kürzer sind und mehr Einrichtungen in 20 Minuten Gehzeit erreicht werden könnten. Die Erreichbarkeit wird in der Legende, je nach der Filterung in dem Hauptmenü, so dargestellt, dass der beste Walk Score hellgrün ist und die schlechteste dunkelrot ist.

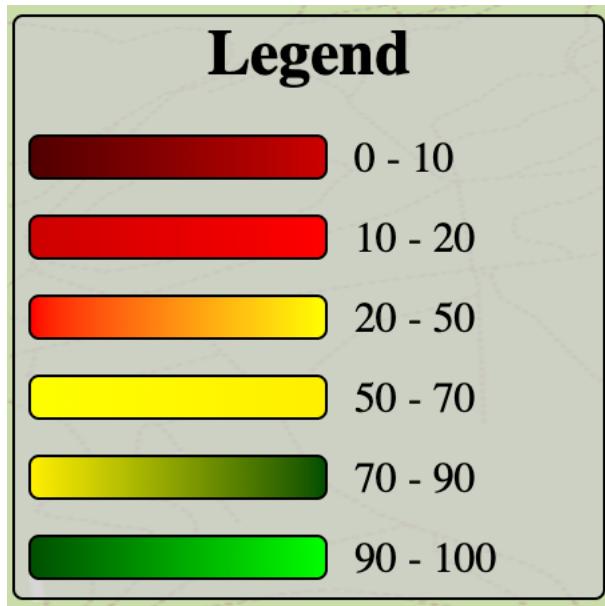


Abbildung 5. Die Legende stellt die Farben von Walk Score dar.

4.4.2 In welchen Bereichen leben viele ältere Menschen mit schlechter Erreichbarkeit?

In der 3D-Umgebung werden auf der Karte die registrierten Wohnorte (100x100m) in Form von Säulen dargestellt. Wie es im Abschnitt 4.4.1 erklärt wurde, spielt der Walk Score eine große Rolle bei der Erkennung von einer guten bzw. schlechten Erreichbarkeit bei den Seniorinnen und Senioren. Anhand dieser Berechnung und den dazu liegenden Filteroptionen im Hauptmenü - “Sortieren” und “Färben” können die Säulen gezielt sortiert werden, sodass der Entscheider nur mit einem schnellen Blick die Bereiche sehen kann, wo ältere Menschen mit guter bzw. schlechter Erreichbarkeit zu finden sind. Damit Klarheit geschafft werden kann, wo sich mehr Menschen in einem Wohnort befinden, muss die Filteroption “Sortieren” nach Anzahl der Personen eingestellt werden. Somit werden die Säulen höher gerendert, wenn es viele Seniorinnen und Senioren in einem Wohnort zu finden gibt und bzw. werden die Säulen niedrig dargestellt, wenn es weniger Menschen gibt. Der zweite Faktor für die Erkennung von schlechter Erreichbarkeit ist die Möglichkeit, nach Farbe zu sortieren. Wenn es nach Walk Score eingestellt wird, werden die Säulen so gefärbt, dass diese dunkelrot werden, wenn die Erreichbarkeit schlecht ist und hellgrün, wenn die Erreichbarkeit sehr gut ist.

Wenn ein Wohnort selektiert wird, wird die Säule in eine spezielle neutrale graue Farbe gefärbt, die bei der Erkennung hilft. Damit nicht vergessen wird, welche Farbe der Wohnort hat, wird als Hinweis in der Legende entsprechend markiert und in dem dynamischen Abschnitt dargestellt

(Siehe Abbildung 6). Wobei "walkscore" steht für Walk Score und "n_{_} seniors" steht für Anzahl der Senioren.

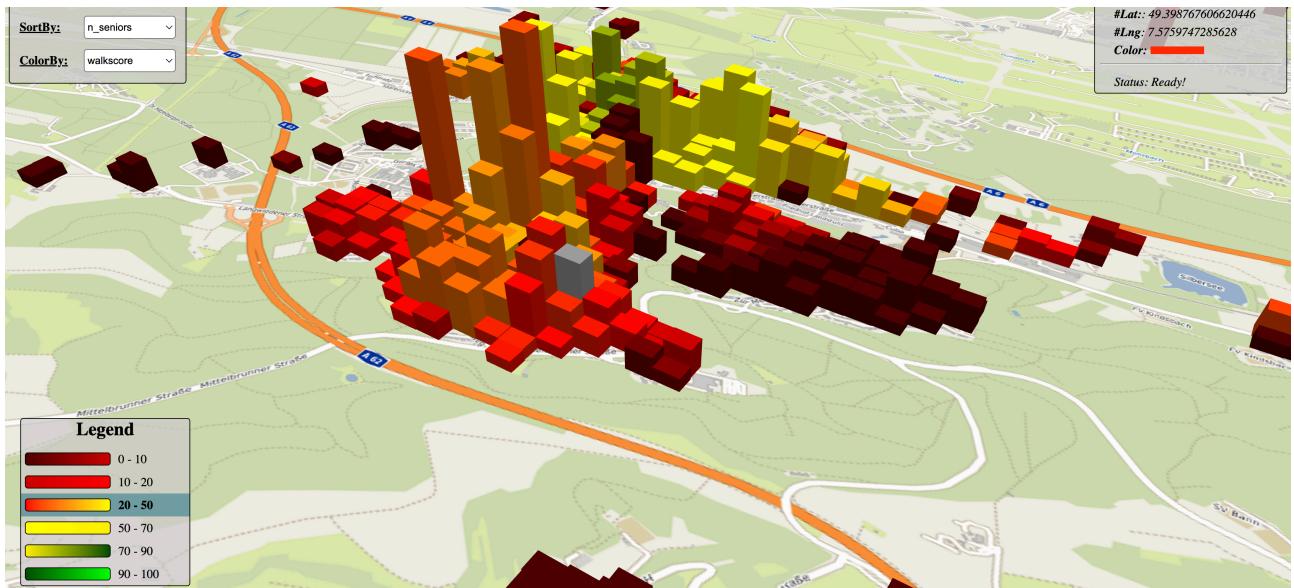


Abbildung 6. Die Umgebung mit angepassten Filteroptionen

4.4.3 Wie werden die Einrichtungen dargestellt und wie werden die wichtigeren Einrichtungen erkannt?

Die Einrichtungen werden erst beim Erweitern eines Wohnortes dargestellt. Jeder Einrichtungstyp wird als Säule angezeigt und hat eine eigene Farbe, Gewicht, Breite und Höhe. Je höher die Bedeutung der Einrichtung ist, desto höher ist die Säule bzw. je niedrigere Bedeutung hat die, desto niedriger ist die. Die Höhe und die Breite der Einrichtung werden von dem Einfluss auf den Erreichbarkeitsindex mit der folgender Rechenformel berechnet:

$$[Faktor - Länge der Route] * [Faktor - Einrichtungstyp] / [Anzahl erreichbarer Einrichtungen des Typs]$$

Wobei der Faktor für die Länge einer Einrichtung wie folgt definiert ist:

$$\begin{aligned} 0m - 300m: 1.0; \quad 300m - 600m: 0.75; \\ 600m - 900m: 0.5; \quad 900m - 1200m: 0.25; \quad 1200m+: 0.1 \end{aligned}$$

Und für den Typ der Einrichtung:

$$\begin{aligned} \text{Grocery: } 3.0; \text{ Restaurants : } 3.0; \text{ Shopping: } 2.0; \text{ Coffee: } 2.0; \text{ Banks: } 1.0; \\ \text{ Parks: } 1.0; \text{ School: } 1.0; \text{ Books: } 1.0; \text{ Entertainment: } 1.0 \end{aligned}$$

Die Berechnung bemisst den Einfluss einer einzelnen Einrichtung auf das Ergebnis des Walk Scores. Anhand dieser Berechnung wird eine visuelle Klarheit geschaffen. Eine höhere Säule hat mehr Priorität als eine niedrigere Säule. Die Farbe der Einrichtungstyp wird in 3 Kategorien unterteilt. Es wurden drei Farben definiert. Für einen Typ mit einem großen Faktor - 3.0 z.B wie "Grocery" oder "Restaurants" ist die Farbe der entsprechenden Einrichtung dunkelrot (0xFA4545). Für einen Faktor 2.0 ist die Farbe Orange (0xFAA346) und für einen Typ mit einem Faktor 1.0 ist die Farbe gelb (0xFAE046) definiert.



Abbildung 7. Einrichtungsüberblick

4.4.4. Welche Informationen liefern die Erreichbarkeitskreisen und wie kann es bei der Einschätzung der Erreichbarkeit einer Einrichtung helfen?

Es wurde im Abschnitt 4.4.3 beschrieben, dass jede Einrichtung ihre eigene Größe hat - je höher sie ist, desto wichtiger ist sie für die Seniorinnen und Senioren. Die “Erreichbarkeitskreise” (Abbildung 8) stellen dem Entscheider die Möglichkeit zur Verfügung, die Distanz (Luftlinie) von der Einrichtung zu dem Wohnort sehr schnell optisch einzuschätzen. Diese werden in 3 Farben dargestellt: grün für die naheliegende Einrichtungen, gelb für eine mittlere Distanz und rot für einen Bereich, der weit weg vom Wohnort liegt. Somit kann schnell erkannt werden, ob sich die Einrichtung in einem Bereich befindet, der in der Nähe liegt und sie schnell erreicht werden kann. Die Länge der Kreise wird berechnet, indem als Erstes durch die Länge aller Einrichtungen iteriert wird. Die kürzeste und die längste Routen werden bestimmt und somit auch die durchschnittliche Strecke:

$$[avg] = ([minimal\ distance] + [maximal\ distance]) / 2$$

Als Zweites wird die Länge des grünen Kreises so berechnet, dass die minimale Distanz mit der 1/10 Differenz von mittlerer Distanz und minimaler Distanz addiert wird.

$$[min] = [minimal\ distance] + ([average\ distance] - [minimal\ distance]) / 10$$

Als Nächstes wird für den mittleren Kreis die mittlere Distanz mit der 1/10 Differenz von der maximalen Distanz und mittleren Distanz addiert.

$$[avg] = [average\ distance] + ([maximal\ distance] - [average\ distance]) / 10$$

Und als Letztes werden für den roten Kreis die maximale Distanz und die 1/20 Differenz von der maximalen Distanz und mittleren Distanz addiert.

$$[max] = [maximal\ distance] + ([maximal\ distance] - [average\ distance]) / 20$$

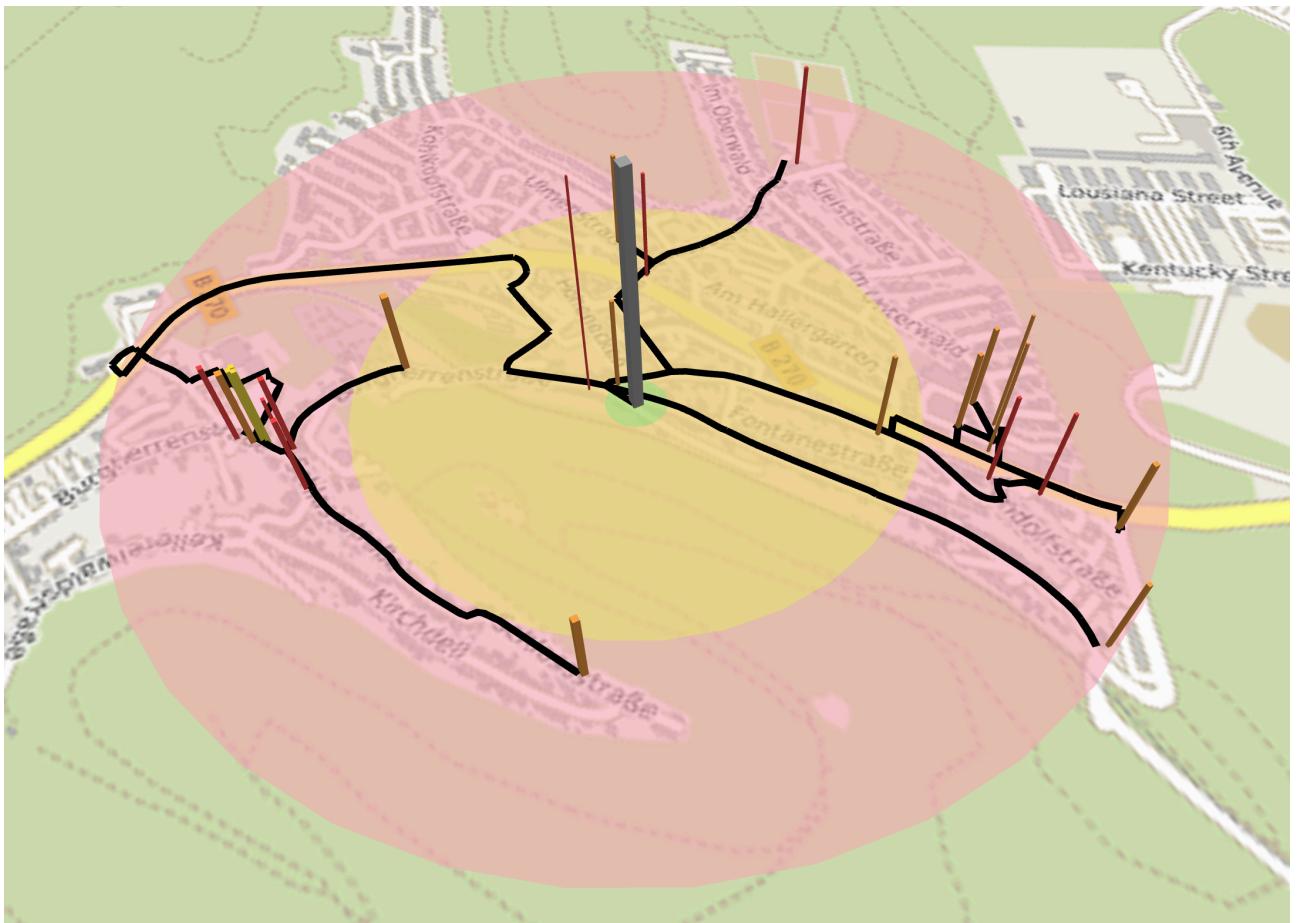


Abbildung 8. Die Erreichbarkeitskreisen

4.4.5 Warum ist eine echte isochron-basierte Visualisierung von den Erreichbarkeitskreisen nicht möglich?

Wie bereits in dem vorherigen Abschnitt (4.4.4) erklärt wurde, stellt die Webanwendung die Erreichbarkeitskreisen als euklidischen Distanzen (Luftlinien) dar. Sie dienen nur als ein optisches Hilfsmittel bei der Einschätzung der Entfernung einer Einrichtung von einem bestimmten Wohnort. Die Erstellung einer echten isochron-basierten Visualisierung der Erreichbarkeitskreisen ist zurzeit nicht möglich. Die Webanwendung enthält keine Karte mit Informationen über die Straßen, sondern ein von WMS erstelltes Bild, das auf die Bodenoberfläche der 3D-Umgebung gezeichnet wird. Auf dieser Karte werden nur die vorhandenen Daten aus der Datenbank präsentiert (Routen, Einrichtungen und Wohnorte). Eine Karte, die Informationen über das Straßennetz liefert, ist ein essentieller Grund für die Umsetzung solcher isochron-basierten Visualisierungen, was in diesem Projekt nicht vorhanden ist.

4.4.6 Welche Gehwege sind für die Versorgung von Seniorinnen und Senioren besonders relevant?

Nicht nur die Distanz zu einer Einrichtung ist für die Seniorinnen und Senioren wichtig, sondern auch um welche Einrichtung es sich genau handelt. In den Abschnitten 4.4.3 und 4.4.4 werden die Werkzeuge beschrieben, die bei der Erkennung von den wichtigsten Einrichtungen hilft. Mit diesen zwei Werkzeugen werden die Einrichtungen mit der höheren Bedeutung und deren Abstand optisch bestimmt. Aber wie wird der Gehweg bestimmt und welche Strecke ist die Richtige? Es entspricht die Länge der Route nicht immer die Erreichbarkeitskreisen, wie es bereits im Abschnitt 4.4.5 erklärt wurde, oder es ist schwierig die richtige Route zu erkennen, wenn mehrere Routen sich an einer oder mehreren Stellen überlappen. Deswegen kann beim Auswählen einer bestimmten Einrichtung die genaue Route gezeichnet werden. Die genaue Länge der Route wird in dem dynamischen Detailabschnitt gezeigt und die Strecken werden in drei Farben dargestellt - grün für eine kurze, gelb für mittellange und rot für eine sehr lange Strecke.

Für die Färbung der Strecke wird die gleiche Rechenformel von dem Abschnitt 4.4.4 verwendet. Die Berechnung bemisst die Länge der Strecke im Vergleich zu den anderen Strecken für den bestimmten Wohnort. Es gibt bestimmte Fälle, bei denen die Routen in einer anderen Farbe eingefärbt sind, wie die Bereiche in denen sich die Einrichtungen befinden und das kann wichtig bei der Schätzung sein.

Folgende Fälle sollen als Beispiele vorgestellt werden:

- 1) Die berechnete Strecke von dem Wohnort zu einer Einrichtung wurde im Vergleich zu den anderen Strecken von dem gleichen Wohnort zu den anderen Einrichtungen mittellang berechnet und orange eingefärbt. Die Einrichtung befindet sich trotzdem in dem roten Bereich. Das passiert, weil die Strecke im Vergleich zu den anderen nicht so lang ist. (Abbildung 10)
- 2) Einerseits ist die Einrichtung geografisch (Luftlinie) nicht so weit weg von dem Wohnort und deswegen wurde die in dem gelben Bereich positioniert. Andererseits ist die Route rot eingefärbt, weil dies ein langer Umweg ist. (Abbildung 9)

Anhand in diesem Abschnitt erwähnten Werkzeuge können die besonders relevanten Gehwege bestimmt werden.

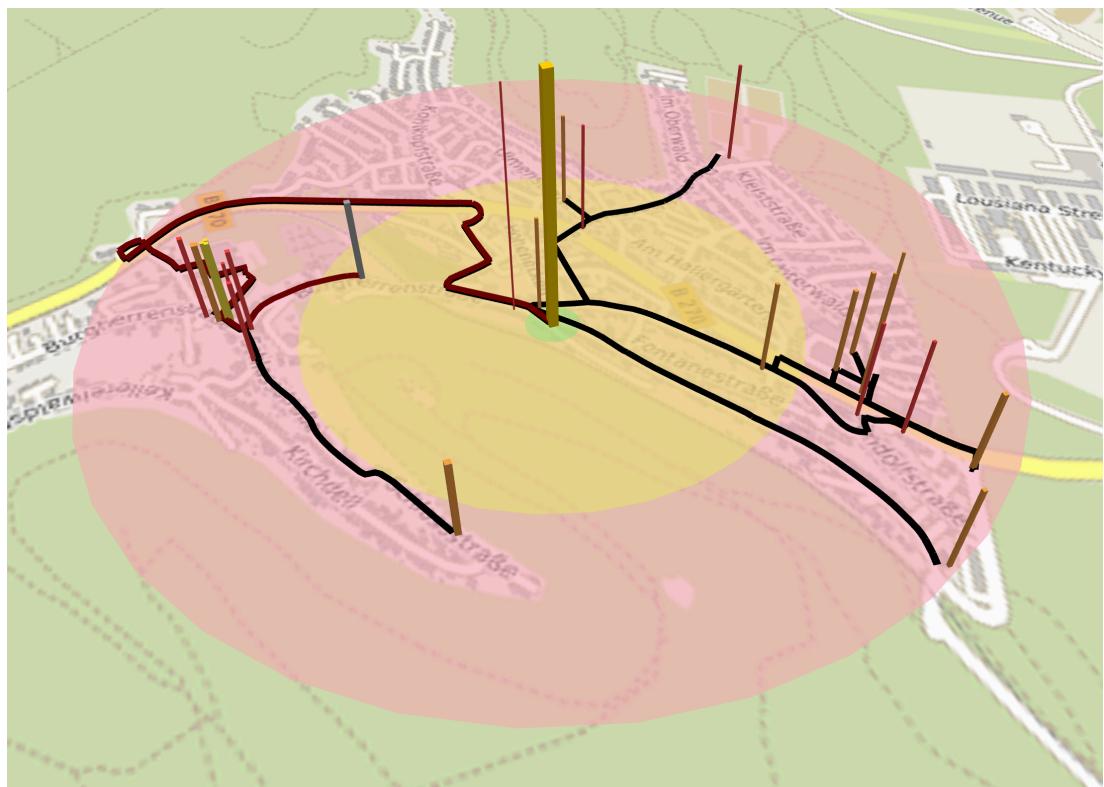


Abbildung 9. Die Einrichtung befindet sich im gelben Bereich und hat trotzdem eine sehr lange Strecke



Abbildung 10. Die Einrichtung befindet sich im roten Bereich und hat eine mittellange Strecke

4.4.7 Können mehrere Einrichtungen mit einer Strecke erreicht werden, liegen einzelne Versorgungseinrichtungen nahe beieinander oder weit entfernt voneinander?

Es ist klar geworden, dass jede Einrichtung eine bestimmte Route beim Erweitern eines Wohnorts hat. In dieser 3D-Webanwendung können sehr schnell die Einrichtungen und deren Routen zugeordnet werden, indem die Route für eine bestimmte Einrichtung gezeichnet wird. Wenn eine bestimmte Strecke genauer untersucht wird, wird diese in einer anderen Farbe dargestellt. Somit ist eine visuelle Erkennung sehr einfach, falls es andere Einrichtungen auf dem gleichen Weg gibt.



Abbildung 11. Mehrere Einrichtungen liegen auf einer Strecke

4.4.8 Welche sind die Vor- bzw. Nachteile dieser 3D-Webanwendung gegenüber einer 2D-Darstellung?

Für die Datenvisualisierung ist es im Allgemeinen schwer eine Entscheidung zu treffen, ob eine 2D- oder 3D-Darstellung besser geeignet ist. Dabei müssen die Vor- und Nachteile der beiden Visualisierungstechniken beachtet werden, die mit verschiedenen technischen und visuellen Aspekten wie Verdeckung, Skalierbarkeit, Verzerrung und Unordnung verbunden sind (Dübel et al., 2014). Die 2D- und 3D-Visualisierungen sind für unterschiedliche Aufgaben geeignet. Beispielsweise werden die 2D-Ansichten häufiger verwendet, um präzise Beziehungen herzustellen und eine genaue Navigations- und Entfernungsmessung durchzuführen. Im Vergleich dazu ist die 3D-Visualisierung besser geeignet, um qualitatives Verständnis zu erlangen, eine Vermessung in 3D-Raum zu ermöglichen und Auskunft über die 3D-Form von einem oder mehreren Objekten zu geben (Tory et al., 2005).

Um die relevanten Geodaten, die vom Forschungsprojekt “RAVFINIERT” geliefert wurden, besser und intuitiver darzustellen, wurde für dieses Projekt entschieden, die Daten in einer 3D-Umgebung zu präsentieren. Als Darstellungstechnik wird Attributraum 3 und Referenzraum 2 (A3 + R2) (Dübel et al., 2014) verwendet (Abschnitt 3.1). Es gibt Daten und Informationen über die Wohnorte und Einrichtungen, die besser in einer 3D-Form visualisiert werden können. Auf der Abbildung 6. ist gut zu erkennen, dass die Höhe der Elemente, die nicht in einer 2D-Ansicht möglich ist, sehr entscheidend für die Einschätzung sein kann. Die Höhe gibt dem Entscheider einen Überblick an, wo der Walk Score größer bzw. kleiner ist, oder wo die Anzahl der Seniorinnen und Senioren an einem Wohnort größer bzw. kleiner ist (Abschnitt 4.4.2). Ein weiterer Vorteil der 3D-Visualisierung wird in der Abbildung 7 veranschaulicht. Die Einrichtungen werden je nach Bedeutung für die älteren Menschen in verschiedenen Größen dargestellt (Abschnitt 4.4.3). Die Möglichkeit die 3D-Umgebung zu rotieren, erlaubt dem Nutzer einen dynamischen und passenden Ansicht zu finden, von wo die Daten besser analysiert werden können. Außerdem ist die vertikale Anpassung von den Routen dafür bedeutend, dass eine Überlappung von verschiedenen Routen verhindert wird (Abschnitt 4.4.6).

Die 3D-Umsetzung in diesem Projekt hat auch Nachteile, z.B. die Kosten für die 3D-Elemente beim Rendern, außerdem dauert es deutlich länger, bis alles in der Umgebung gezeigt wird. Ein weiterer Nachteil ist die höhere Komplexität der Objekte. Es kann vorkommen, dass an einer Stelle viele

Objekte dargestellt werden müssten, was eine erhöhte Konzentration von dem Betrachter verlangt, die genauere Einschätzung erschwert und zur Verwirrung führen kann.

5. Implementierung

5.1 Technologien

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Technologien für dieses Projekt erwähnt und beschrieben.

5.1.1 Node.js

Node.js ist eine unabhängige Entwicklungsplattform, die eine serverseitige Laufzeitumgebung ist. Es führt Javascript-Code mithilfe von “V8 Engine” außerhalb der Webbrowser aus. Mit Node.js können verschiedene Webservern und Werkzeuge für das Netzwerk erstellt werden. Es können auch mehrere Sammlungen von Modulen verwaltet werden. Ein von den wichtigsten Eigenschaften dieser Technologie ist, dass sie eine Event-Driven Architektur (EDA) hat und geeignet für eine asynchrone Input/Output Verarbeitung und eine Echtzeit-Webanwendung ist. Mit Node.js wird auch Node Package Manager (npm) installiert, was für das Installieren, Löschen, Aktualisieren, Publizieren & Teilen verschiedener Modulen verantwortlich ist. Für dieses Projekt wird ein Entwicklungsserver benötigt, um die nötigen für das Frontend Daten von der Datenbank effektiv und schnell geliefert zu werden.

5.1.2 ExpressJs und Sequelize

ExpressJs (oder nur Express) ist ein serverseitiges Javascript Framework. Das Werkzeug dient als eine Erweiterung für Node.js, mit der sehr einfach und überschaubar REST/RESTful APIs erstellt werden können. Es wird mit Express am meistens nach einer MVC-Struktur gestrebt.

Sequelize ist ein “promise-based” Object-Relational Mapping (ORM) Werkzeug, das speziell für Node.js entwickelt wurde. Sequelize hat viele wichtige Eigenschaften, die heutzutage sehr gesucht sind, wie: solide Transaktionsunterstützung, Relationen, Eager- & Lazy-Laden und weitere. Das ORM-Werkzeug ist mit Postgres, MySQL, MariaDB, SQLite und Microsoft SQL Server kompatibel.

5.1.3 PostgreSQL

PostgreSQL (oder auch als Postgres bekannt) ist ein objektrelationales Open Source Datenbankverwaltungssystem. PostgreSQL unterstützt einen sehr großen Teil der SQL Standarten und bietet viele weitere Funktionen zur Verfügung an. Die wichtigste Erweiterung für Postgres in

diesem Projekt ist PostGIS. PostGIS ist eine Erweiterung für geografische Informationssysteme. Die ermöglicht die Speicherung, Bearbeitung und Analyse von Geo-Objekten in der Datenbank. Das ist der Hauptgrund, warum PostgreSQL für dieses Projekt vor den anderen Datenbankverwaltungssystemen bevorzugt wird.

5.1.4 Webpack

Webpack ist ein Open Source JavaScript Modul Bündler. Die Hauptaufgabe vom Webpack ist alle Module mit Abhängigkeiten wie Javascript, CSS oder SCSS Dateien zu einer Datei zu bündeln oder zu transformieren. Die Daten von dynamischen Modulen in statischen Assets übersetzt.

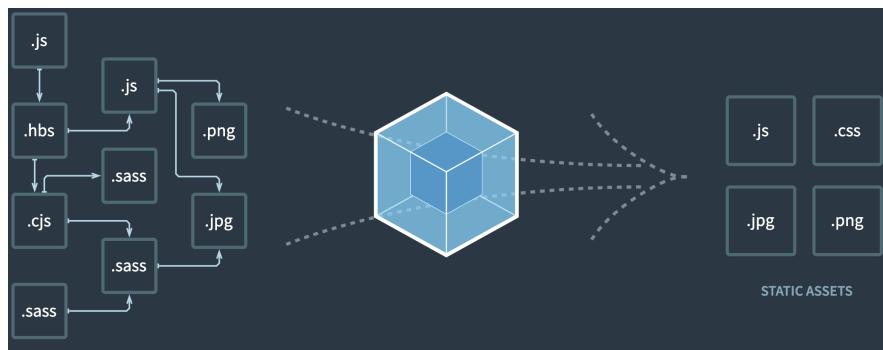


Abbildung 12. Wie funktioniert Webpack

Webpack ist sehr geeignet für dieses Projekt, weil die Javascript Dateien und deren Abhängigkeiten modularartig geladen werden.

5.1.5. WebGL und ThreeJS

WebGL ist eine Javascript API (Schnittstelle), die auf einer Videokarte (GPU) ausgeführt wird, damit 3D-Grafiken im Echtzeit ohne zusätzliche Erweiterungen direkt im Webbrower dargestellt werden können.

ThreeJS (oder Three.js) ist eine Javascript Bibliothek, die auf WebGL aufgebaut ist. ThreeJS ist heutzutage eine moderne, leichte und einfachere WebGL Alternative. Im Vergleich zu WebGL ist das Programmieren mit ThreeJS deutlich einfacher. Der geschriebene Code ist einfach zu verstehen und die Bibliothek ist geeignet nicht nur für Einsteiger, sondern auch für Fortgeschrittene und kann ein sehr mächtiges Tool sein. Deswegen wird es in diesem Projekt als Hauptwerkzeug eingesetzt.

5.2 Projektinstallation

Als Erstes sollte sichergestellt werden, dass NodeJs, NPM, PostgreSQL und PostGIS bereits auf dem lokalen Computer installiert sind. Das Projekt wurde mit den folgenden Versionen erstellt, die eine reibungslose Installation und Ausführung des Projekts versichern - *NodeJS - v12.18.3; pgAdmin 4 - v6.1; PostgreSQL - v14.1-1; npm - v6.14.6*. Es muss eine Datenbank in PostgreSQL hinterlegt werden - “Bachelorarbeit”, eine PostGIS Erweiterung installiert werden und die Datenbank durch eine Backup-Datei wiederhergestellt werden.

Wenn das Projekt auf dem lokalen Rechner heruntergeladen ist, soll in dem API-Verzeichnis die entsprechende env Datei erstellt und angepasst werden. Damit können alle Node Modulen sowohl in dem API-Verzeichnis als auch im Frontend installiert werden.

Damit das Projekt gestartet werden kann, muss der NPM standardmäßigen Befehl (npm start) in den beiden Verzeichnissen ausgeführt werden.

Die ausführlichen Anweisungen zum Thema - Installation und Ausführung sind in der Datei “Readme” zu finden.

5.3 Karten

Die Karten sind, wie es im Kapitel 4.3 beschrieben wurde, mithilfe eines WMS erstellt und im “fronend/src/public/images/“ gespeichert. Wenn eine neue Karte in der 3D-Webanwendung integriert werden soll, muss es in dem gleichen Verzeichnis heruntergeladen werden. Danach müssen die entsprechenden Konfigurationen in “fronend/src/utils/configs.js” hinterlegt werden. Somit werden alle Karten dynamisch zur Verfügung im Hauptmenü dargestellt.

5.4 Koordinatensystemen. Umwandlung von WGS84 in Lokales Koordinatensystem von ThreeJS.

5.4.1 WGS84

Das World Geodetic System (WGS) wurde für die US-Verteidigungsministerium entwickelt. WGS 84 ist ein Referenzsystem, das bei der GPS Übertragung und den präzisen GPS Ephemeriden verwendet wird. Deswegen ist dieses Koordinatensystem weltweit von großer Bedeutung für viele Anwendungen (Lohmar, 1988). Es dient zur Bestimmung von Longitude, Latitude und Höhe für die Navigation-Positionierung und Zielbestimmung. Diese Norm wird anhand der grundlegenden und abgeleiteten Konstanten des Koordinatensystems ausgeführt - ellipsoidische Earth Gravitational Model (EGM), eine Beschreibung des damit verbundenen World Magnetic Model (WMM) und eine aktuelle Liste der Lokalen Datentransformationen (Grids, 2014). Die Genauigkeit einer aktuellen WGS 84 - Positionsreferenz liegt in der Größenordnung laut Lohmar(1988) von 1 bis 3 Metern, je nach der angewandten Methode. Seitdem wurden signifikante Verbesserungen der Genauigkeit gemacht und jetzt ist es viel mehr präziser (Grids, 2014).

5.4.2 WGS84 Karten in ThreeJS

Die Karte wird in WGS 84 von WMS erstellt (Abschnitt 4.3). WGS 84 unterscheidet sich von dem lokalen Koordinatensystem in Threejs und deswegen müssen die Koordinaten von der Datenbank umgewandelt werden. Dieser Vorgang wird in dem nächsten (5.4.3) Abschnitt näher behandelt. Die Karte von WMS wird als eine Abbildung auf die Bodenoberfläche der 3D-Umgebung mit einer Y-Position gleich “-1” gezeichnet. Die Karte hat eine fest definierte Größe in Pixeln (1140x525px) und wird genau in der Mitte der Umgebung positioniert (Abbildung 13).

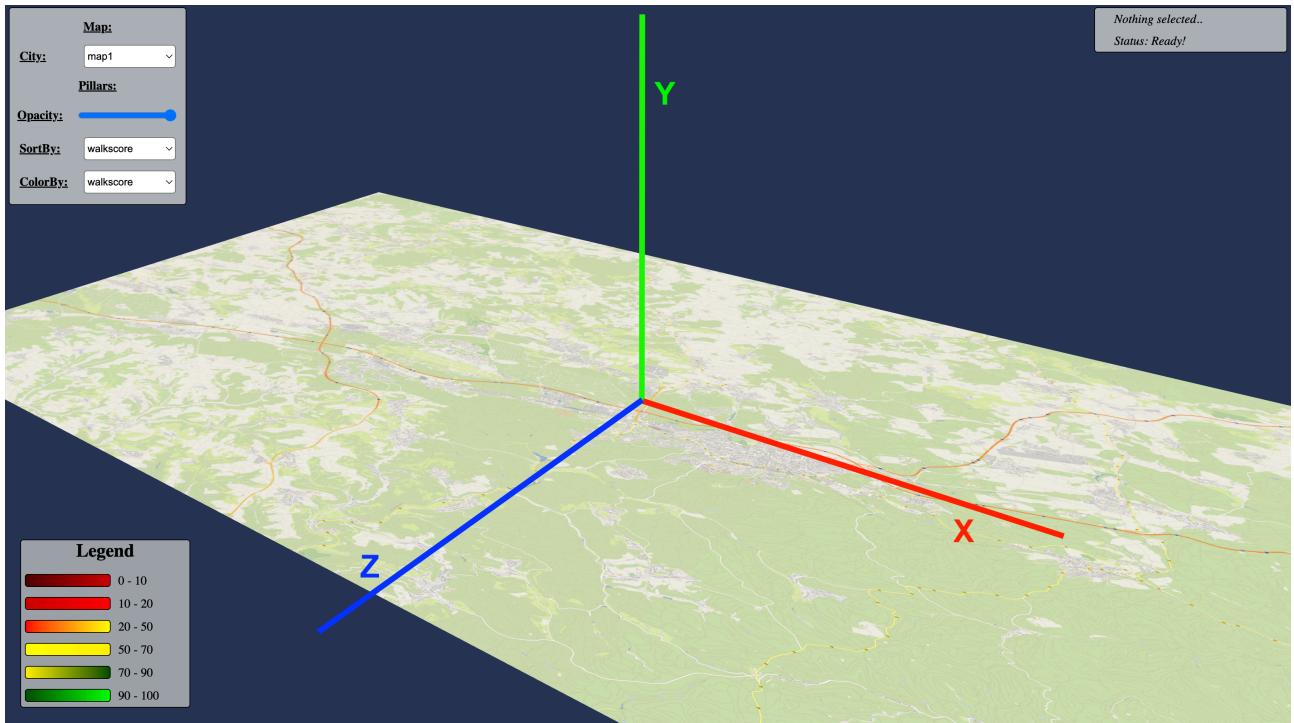


Abbildung 13. Die Position der Karte in der Threejs-Umgebung mit Ursprung [0,0,0] und dazugehörigen Achsen

5.4.3 Berechnung von WGS 84 Punktdaten in dem Lokalen Threejs Koordinatensystem

Eine Funktion mit dem Namen 'calculatePoint' in der Datei 'src/utils/functions.js` berechnet die neue Position der gegebenen Punkten. Sie übernimmt die Longitude und Latitude Position, die Breite und die Länge der Karte auf der Bodenoberfläche und ein Optionsobjekt, das die Start- und Endpunkten der Karte (Longitude - und Latitude - Max/Min) enthält. Der vollständige Rechenvorgang wird als Nächstes schrittweise beschrieben.

1. Lokale Definition von Parametern: Es werden für eine Vereinfachung und bessere Übersicht die Breite und die Länge der Bodenoberfläche und die min- bzw. max Werte der Karte in Longitude und Latitude in lokalen Konstanten gespeichert.

```
const mapWidth = groundWidth;
const mapHeight = groundHeight;
const lngMax = options.lngMax;
const lngMin = options.lngMin;
const latMax = options.latMax;
const latMin = options.latMin;
```

2. Berechnung von Differenzen der Karte: Es wird Latitude-Min von Latitude-Max bzw. Longitude-Min von Longitude-Max subtrahiert, um die Breite und Länge der Karte in Longitude und Latitude Werten zu finden. Um eine genaue Berechnung von Gleitkommazahlen durchzuführen, wird eine kostenlose Javascript-basierte Third-Party-Library namens “Decimal” verwendet.

```
const lngDifference = new Decimal(lngMax).minus(lngMin).toNumber();
const latDifference = new Decimal(latMax).minus(latMin).toNumber();
```

3. Umwandlung von Longitude in Prozenten: Der prozentuale Anteil (percX) wird anhand der aktuellen Position (lng), Longitude-Min (lngMin) und Longitude-Differenz (lngDifference) berechnet.

```
// [percX] = ([lng] - [lngMin]) / [lngDifference]
const percX = new Decimal(new Decimal(lng).minus(lngMin)).dividedBy(lngDifference).toNumber();
```

4. Berechnung vom prozentualen Anteil (percX) in lokalen Threejs Koordinatensystem (newX): Nachdem die Longitude Position in Prozenten berechnet wurde, muss die in Pixeln anhand der Breite der Karte umgewandelt werden. Ein wichtiger Hinweis für diese Berechnung ist die Subtraktion von der Hälfte der Breite der Karte. Somit wird die Position gegenüber der Startpunkt der Karte berechnet.

```
// [newX] = ([map width] * [percX]) - ([map width] / 2)
const newX = new Decimal(new Decimal(mapWidth).times(percX)).minus(new
Decimal(mapWidth).dividedBy(2)).toNumber();
```

5. Gleichermassen wird die neue Z-Position mithilfe von Latitude berechnet.

```
// [percZ] = ([lat] - [latMin]) / [latDifference]
const percZ = new Decimal(new Decimal(lat).minus(latMin)).dividedBy(latDifference).toNumber();
// [newZ] = ([map height] * [percZ]) - ([map height] / 2)
const newZ = new Decimal(new Decimal(mapHeight).times(percZ)).minus(new
Decimal(mapHeight).dividedBy(2)).toNumber();
```

6. Schließlich wird der neue Z-Wert (newZ) mit “-1” multipliziert, um der an der z-Achse richtig anzupassen. Dann liefert die Funktion die neuen X- und Z-Werte in dem lokalen Threejs Koordinatensystem (in Pixeln).

6. Zusammenfassung

Die Visualisierung von Daten ist eine analytische Methode, indem nicht visuelle Daten in Objekte umgewandelt werden. Sie sollte den Menschen helfen, verschiedene Problemstellungen zu lösen und Schlussfolgerungen daraus zu ziehen.

Ziel dieser Projektarbeit ist es, eine Webanwendung zur Darstellung und Analyse von Erreichbarkeitsdaten im Kontext eines realen Forschungsprojekts zu erstellen. Geodaten werden auf einer Karte, die anhand von einem Web Map Service generiert wurden, in dreidimensionaler Ansicht gezeichnet. Weitere wissenschaftliche Arbeiten dienen als Grundlage dafür, die passenden Technologien zu finden und Visualisierungsfragen zu formulieren. Im Abschnitt 4.4 werden diese Fragen gestellt und deren Antworten sollten die Argumentation unterstützen, warum die dreidimensionalen Visualisierungen von Erreichbarkeitsdaten hilfreich sind. Es wird gezeigt, dass eine Einheit (Walk Score) sehr wichtig für die Analyse von der Erreichbarkeit ist. Diese Einheit kann anhand der anderen in der Webanwendung vorgegebenen Werkzeugen die Einschätzung beeinflussen. Außerdem wird bewiesen, dass solche Werkzeuge effektiv bei dem Monitoring von strukturschwachen Dörfern sind. Sie liefern Informationen über die Gebiete, in denen viele ältere Menschen mit schlechter Versorgungserreichbarkeit wohnen. Jedes Element in der Umgebung hat seine eigenen Besonderheiten. Das soll dem Benutzer bei der Informationssuche erleichtern. In der Webanwendung kann die 3D-Welt auf mehrere Art und Weise dargestellt werden. Typischerweise wird die isochron-basierte Visualisierungstechnik bevorzugt, was in diesem Projekt auf einige Schwierigkeiten stößt. Ein anderer und ganz wichtiger Aspekt bei den Visualisierungsfragen ist die Aufstellung von Vor- und Nachteilen der dreidimensionalen Webanwendung im Gegensatz zu einer zweidimensionalen Darstellung.

Die Implementierung von den beschriebenen im Abschnitt 5.1 Technologien ermöglichen die Erstellung von solchen 3D-Webanwendungen und Werkzeugen. Solche Produkte werden in der Regel nicht mit anderen Lizenzprodukten verbunden und der Benutzer braucht keine zusätzlichen Fähigkeiten und Wissen, um diese zu steuern.

Zusammenfassend kann diese Webanwendung als eine interaktive und moderne Methode zur Darstellung von Erreichbarkeitsdaten bezeichnet werden. Sie braucht keine zusätzliche lokale Installation und kann unabhängig von kostenpflichtiger Software sein. Außerdem kann sie große Menge von Daten darstellen und gleichzeitig vereinfacht, benutzerfreundlich und zielgerichtet sein.

Umfassende Informationen über das Straßennetz können diese Anwendung in der Zukunft verbessern. Somit sollen zusätzliche Daten erfasst werden, die bei der Erstellung einer echten isochron-basierten Visualisierung helfen. Weitere Werkzeuge zum Filtern und zur Vereinfachung der Daten können die Verdeckung von Elementen der Attributraum verringern, was zu einer präziseren und übersichtlichen Darstellung von Daten und deren Analyse führt.

Literaturverzeichnis

- Bertin, J. (1983). *Semiology of Graphics*. University of Wisconsin Press.
- Dübel, S., Röhlig, M., Schumann, H., & Trapp, M. (2014). 2D and 3D presentation of spatial data: A systematic review. In 2014 IEEE VIS international workshop on 3DVis (3DVis) (pp. 11-18). <https://doi.org/10.1109/3DVis.2014.7160094>
- Glander, T., Kramer, M., & Döllner, J. (2010). Accessibility maps for the visualization of quality of mobility in public transport. *Kartographische Nachrichten*, 60.
- Grids, U. (2014). National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) Standardization document.
- Haunert, J. H., & Sering, L. (2011). Drawing road networks with focus regions. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 17(12), 2555–2562. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2011.191>
- Herman, L. & Řezník, T. (2015). 3D web visualization of environmental information-integration of heterogeneous data sources when providing navigation and interaction, *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-3/W3, 479–485, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-479-2015>, 2015.
- Kehrer, J., & Hauser, H. (2013). Visualization and visual analysis of multifaceted scientific data: A survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(3), 495–513. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.110>
- Keler, A., Bug, L. A., & Krisp, J. M. (2019). Network-based Visualisation of Accessibility for a Public Transport System, *Advances in Cartography and GIScience of the International Cartographic Association*, 1, 7. <https://doi.org/10.5194/ica-adv-1-7-2019>
- Keller, P. R., & Keller, M. M., (1993). *Visual cues: practical data visualization*. IEEE Computer Society Press Los Alamitos, CA.
- Krause, J., Spicker, M., Wörteler, L., Schäfer, M., Zhang, L., & Strobelt, H. (2012). Interactive Visualization for real-time public transport journey planning. In *Proceedings of SIGRAD 2012; Interactive Visual Analysis of Data*; Växjö; Sweden, 081, 95-98.
- Listemann, M., Trapp, M., & Döllner, J. (2019). Lens-based Focus+Context Visualization Techniques for Interactive Exploration of Web-based Reachability Maps. *Václav Skala - UNION Agency. Journal of WSCG*, 27(2), 83-92. <https://doi.org/10.24132/JWSCG.2019.27.2.1>

- Lohmar, F. J. (1988). World geodetic system 1984 — geodetic reference system of GPS orbits. In: Groten E., Strauß R. (eds) GPS-Techniques Applied to Geodesy and Surveying. Lecture Notes in Earth Sciences, 19. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/BFb0011360>
- Maciejewski, R., Hafen, R., Rudolph, S., Larew, S. G., Mitchell, M. A., Cleveland, W. S., & Ebert, D. S. (2011). Forecasting Hotspots-A Predictive Analytics Approach. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 17(4), 440–453. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2010.82>
- O'Sullivan, D., Morrison, A., & Shearer, J. (2000). Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: an isochrone approach. International Journal of Geographical Information Science, 14(1), 85-104. <https://doi.org/10.1080/136588100240976>
- Schoedon, A., Trapp, M., Hollburg, H., Gerber, D., & Döllner, J. (2019). Web-based Visualization of Transportation Networks for Mobility Analytics. In Proceedings of the 12th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction. 1-5. <https://doi.org/10.1145/3356422.3356425>
- Stock, K., & Guesgen, H. (2016). Geospatial Reasoning With Open Data. Automating Open Source Intelligence, 171–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802916-9.00010-5>
- Tory, M., Kirkpatrick, A. E., Atkins, M. S., & Moller, T. (2005). Visualization task performance with 2D, 3D, and combination displays. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 12(1), 2-13. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2006.17>
- Zenner, C., Asche, H., & Wolff, M. (2008). Virtuelle 3D-Geovisualisierungen—innovative Formen der Kommunikation und Perzeption räumlicher Strukturen. In Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XX. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg. Wichmann, Heidelberg, 878-883.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst möchte ich mich vor allem bei Herrn Prof. Dr. Klaus Böhm und Herrn M. Sc. Konstantin Geist für die hilfreichen Anregungen, die konstruktive Kritik und den regelmäßigen Austausch bedanken.

Ich möchte mich herzlich bei meinen Arbeitskollegen Lukas Freudenberger und Marcel Renschin bedanken, die mir bei der Korrektur der Arbeit geholfen haben.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Freundin - Zornitsa Kunchova, meinen Eltern und meiner Schwester bedanken, die mir während der letzten drei Jahren die ganze Unterstützung gegeben haben.