

Microservice-basierte Analyse und Web-Visualisierung zur Fahrradtauglichkeit für die innerstädtische Verkehrsplanung

Microservice-based Analysis and Web-Visualization of Bikeability for Urban Traffic Planning

Jan Hasselberg¹, Markus Berger¹, Martin Wogan²

¹Bauinformatik und Digitales Bauen, Fak. AUF, Universität Rostock · markus.berger@uni-rostock.de

²Institut für Bauinformatik, TU Dresden

Zusammenfassung: Aus frei verfügbaren Datensätzen, wie OpenStreetMap (OSM) und behördlichen Open-Data-Initiativen, lassen sich für die Planung von Radwegen relevante Daten z. B. Oberflächenbeschaffenheit oder Points of Interest (POI) abrufen. Diese zusätzlichen Informationen standen Planungsingenieuren bisher nur schwer zugänglich zur Verfügung, da sie in den entsprechenden Planungstools nicht integriert sind. Hierdurch kam es zu Informationslücken, die ggf. erst in späteren Planungsphasen berücksichtigt werden konnten. In diesem Beitrag wird die Entwicklung einer Web-Plattform demonstriert, mit welcher genau solche kontextuellen Informationen für aktive Planungsprozesse nach Bedarf ortsbezogen visualisiert werden können. Es wird dabei eine modulare Server-Architektur basierend auf Microservices verwendet.

Schlüsselwörter: Stadtplanung, Mobilitätsanalysen, Web-GIS, Microservices, Fahrradfreundlichkeit

Abstract: *Freely available data sets such as OpenStreetMap (OSM) and governmental Open Data initiatives can be used to retrieve data relevant to bike lane planning scenarios, e. g. surface conditions or points of interest (POIs). Until now, this additional information has been difficult to access for planning engineers, because it is not integrated in the corresponding planning tools. This resulted in information gaps that can then only be taken into account in later planning phases. This paper demonstrates the development of a web platform that can be used to generate visualizations that show contextual information for active planning processes on a location-specific basis. The platform is powered by a microservice-based server architecture.*

Keywords: *Urban planning, mobility analysis, web mapping, microservices, bikeability*

1 Einführung

Die Konstruktion von innerstädtischen Straßenräumen hat sich in den letzten Jahren stark verändert. In den bestehenden Regelwerken ist die Bewältigung des Verkehrsaufkommens die hauptsächliche Entscheidungsgrundlage (siehe z. B. RASt (2006)). Um diese zu bemessen, werden Mittel wie Verkehrszählungen, -prognosen und -simulationen, verwendet, welche in der Praxis teuer und aufwendig durchzuführen sind. Hinzu kommen weitere Entscheidungsfaktoren wie die Vermischung verschiedener Verkehrsnetze (z. B. Straße, Bahn und Radwege) und die Einbindung der innerstädtischen Raumplanung (Erreichbarkeiten von Points of Interest (POI) im lokalen Kontext, wie z. B. Einzelhandel, medizinische oder pädagogische Einrichtungen) (Gerike & Vallée, 2021, p. 122). Zudem treten aktuell vermehrt die planerischen Wünsche für die „Stadt der Zukunft“ in den Vordergrund, wobei vor allem die Attraktivität des öffentlichen Raumes an Bedeutung gewinnt (UBA, 2017).

Die genannten Themenbereiche müssen von Planungsbeginn an in die Planungsprozesse einbezogen werden; allerdings ist die Beschaffung der relevanten Informationen zu solchen komplexen Zusammenhängen sowie die umfangreiche Simulation kosten- und ressourcen-aufwendig. Es fehlen Werkzeuge, um diesen Problemen frühzeitig zu begegnen, vor allem im Kontext des innerstädtischen Kurzstreckenverkehrs. Im Rahmen dieser Forschung liegt der Fokus dabei prototypisch auf der Radwegeplanung.

Ein entsprechendes Werkzeug zur frühen Planung von Radwegen muss reale und geplante Verkehrsbeziehungen verständlich veranschaulichen und in einen funktionalen räumlichen Kontext setzen. Werden diese Verkehrsbeziehungen dabei mit allgemein verständlichen Visualisierungen angereichert und außerhalb von Experten-Software zur Verfügung gestellt, kann es neben Planungsingenieuren auch fachfremden Projektbeteiligten ermöglicht werden, planerische Denkweisen nachzuvollziehen und so die komplexen und sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren zu verstehen (Schoedon et al., 2019).

Basierend auf diesen Gedanken formulieren wir folgende Anforderungen an den im Rahmen dieser Forschung entwickelten Prototypen:

1. Das Werkzeug muss einfach zugänglich und für jeden nutzbar sein.
2. Das Werkzeug muss Zugriff auf möglichst detaillierte und aktuelle Daten haben.
3. Das Werkzeug muss skalierbar sein und mindestens für Deutschland, besser aber für ganz Europa, Gültigkeit haben.
4. Erstellte Auswertungen müssen on-demand neu konstruiert werden können, um sich an neue oder geänderte Anforderungen und Situationen adaptieren zu können.
5. Die Daten müssen allgemein verständlich visualisiert werden.

Im Folgenden wird die Implementierung eines Prototyps beschrieben, welcher aktuelle Technologien nutzt, um die Anforderungen für den gewählten Anwendungsfall zu erfüllen.

2 Methode

2.1 Anforderungsanalyse

Die *Anforderung 1* kann durch verschiedene Technologien erfüllt werden, z. B. durch die Bereitstellung als mobile App oder Webservice. Der hier beschriebene Prototyp wurde als responsive Web-Applikation entwickelt, die mit jeder beliebigen Geräteklasse aufgerufen werden kann. Notwendige komplexe Berechnungen müssen hier serverseitig ablaufen, um die Browser-Umgebung gerade mobiler Geräte nicht zu überbeanspruchen.

Angesichts der heutzutage hohen Qualität von frei verfügbaren Geodaten, wie sie z. B. auf amtlichen Geodatenportalen oder anderen offenen Geodatenplattformen wie OpenStreetMap (OSM) abrufbar sind, kann *Anforderung 2* erfüllt werden, ohne dass proprietäre Daten lizenziert werden müssen.

Die Nutzung von amtlichen Geodaten wird allerdings durch *Anforderung 3* erschwert, da lokale und regionalen Datenportalen in Deutschland zwar oft umfangreich und von hoher Qualität sind, die Repräsentationen und Zugriffsmöglichkeiten auf diese Daten jedoch noch immer sehr heterogen sind. Landesweite oder gar europaweite Portale operieren wiederum meist auf einer Auflösung, die für lokale Verkehrsanalyseszenarien nicht ausreichend ist. Laut De Lange (2020, p. 235) stellt OSM „für derartige Zwecke eine sehr ernstzunehmende Konkurrenz zu den amtlichen Geodaten dar“. OSM enthält eine übergreifende, zumindest

größtenteils einheitliche Klassifizierung von Orten und Objekten des öffentlichen Raums, sowie detaillierte Informationen über das Straßennetz. Die Nutzung von OSM sorgt damit für einen hohen Grad an Vergleichbarkeit und erfüllt die *Anforderungen 2* und *3*. Die in OSM genutzten offenen Formate erlauben es außerdem geplante Änderungen einzupflegen und sie im System genau wie den realen Datenbestand zu behandeln. Zusammen mit der regelmäßigen Pflege der OSM-Daten durch Freiwillige, kann damit auch die *Anforderung 4* erfüllt werden.

Als Grundlage für die in *Anforderung 5* geforderten Visualisierungen, werden verschiedene Analyseformen aus dem Bereich „Verkehr“ benötigt, z. B. Routing und Erreichbarkeitsanalysen (Innerebner et al., 2013). Aber auch POI-basierte Attraktivitätsanalysen wie in Klinkhardt et al. (2021) sind relevant. Bestehende Methoden, die zumindest Teile dieser Ansätze in sich enthalten und kombinieren, sind die häufig verwendeten Bikeability-Scores. Diese gibt es in verschiedenen räumlichen Auflösungen und Qualitätsstufen: Schmid-Querg et al. (2021) fokussiert sich auf Wegsegmente, McNeil (2011) auf Nachbarschaften und Gehring (2017) sowie Jonietz & Timpf (2012) auf die Ebene von Städten und Gemeinden. Diese Scores abstrahieren jedoch im Allgemeinen die Zusammenhänge so weit wie möglich, anstatt diese auf Beschreibungen einzelner Faktoren herunterzubrechen und bestimmte räumliche Situationen genauer zu visualisieren.

2.2 Methodisches Konzept

Um ein System bereitzustellen, welches serverseitig eine potenziell große Anzahl an Anfragen bearbeiten und Geodatenanalysen auf verschiedenen Auflösungsstufen liefern kann, müssen für jeden Schritt mehrere Technologien miteinander verknüpft werden. Geodaten sollten so effizient wie möglich von verschiedenen externen Diensten geladen, durch verschiedene vom Nutzer dynamisch angeforderte Analysen verarbeitet und am Ende mit mehreren Visualisierungsmethoden in eine kohärente Webseite zusammengestellt werden.

Hierfür wird der Prototyp in drei Aspekte aufgeteilt: Datengewinnung, Geodatenanalysen und Visualisierungen. Damit das System dabei skalierbar, performant und anpassbar bleibt, wird eine Microservice-basierte Architektur gewählt. Diese sorgt dafür, dass eine Nutzeranfrage durch die Zusammenarbeit mehrerer spezialisierter Services bearbeitet wird, anstatt durch einen monolithischen Server. Die einzeln ansprechbaren Microservices kommunizieren über fest definierte Kanäle, teilen sich jedoch keinen Programmkontext und keine Rechenzeit. Damit können spezialisierte Werkzeuge und Dienste bedarfsgerecht geladen werden, ohne dass das Gesamtsystem zu komplex und ineffizient wird. Der Service zur Datengewinnung kann regelmäßig Änderungen in externen Diensten abfragen und verarbeiten, sogar bevor Nutzeranfragen eingehen. Der Service zur Visualisierung kann auf Verzögerungen und Fehler in der Analyse reagieren, ohne von diesen selbst beeinträchtigt zu werden.

2.3 Technische Umsetzung

Die serverseitige Applikationslogik der entwickelten Webplattform ist in Python 3.7 implementiert. Zur Abschätzung von Erreichbarkeiten und zur Berechnung von Routen zwischen unterschiedlichen Punkten auf den Wegenetzen kommt die OSS-Routing Engine Valhalla¹ zum Einsatz. Diese ist als lokal laufender Prozess aufgesetzt, genau wie der Geocoding-Service

¹ <https://github.com/valhalla/valhalla>

Nominatim² und das offene Geoinformationssystem QGIS³. Dies verhindert zum einen, dass die Ratenlimits externer Services erreicht werden, zum anderen erlaubt es das potenzielle Führen von „alternativen Realitäten“ in Planungsvorgängen.

Aufgrund der serverseitigen, Microservice-basierten Systemarchitektur wird als Client eine Webseite verwendet, welche sich lediglich um die Datendarstellung kümmert. Die serverseitige Datenaufbereitung und Datenhaltung ermöglicht dann den Einsatz von nativen Tools wie QGIS und Leistungsverbesserungen in der Verarbeitung von großen und heterogenen Datensätzen. Zusätzlich ist die Möglichkeit einer bedarfsgerechten Erweiterung gegeben.

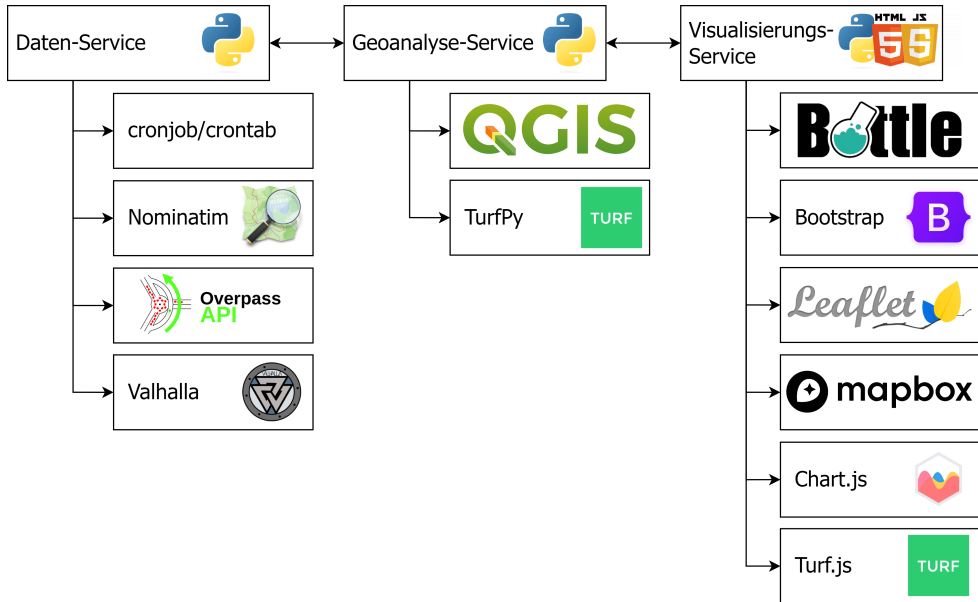


Abb. 1: Systemübersicht über die drei implementierten Microservices und die lokalen Komponenten, die sie verwalten und nutzen

Abbildung 1 zeigt die drei implementierten Microservices mit den in ihnen genutzten Technologien, Frameworks und Bibliotheken. Wie die Services zusammenhängen und auf ihre einzelnen Komponenten zurückgreifen wird im Folgenden geklärt.

2.3.1 Daten-Service

Dieser Service ist mit Python implementiert und dient zum Abruf und Management von Daten aus OSM. Der Service verwaltet dabei mehrere lokale Komponenten. Die erste dieser Komponenten besteht aus CronJobs, welche dafür zuständig sind, regelmäßige und anfragenbezogene Aktualisierungen der Datenbasis auszuführen, ohne dabei Ratenlimits externer Services zu übersteigen. Hierbei findet der Zugriff über die Overpass-API statt, eine Anfragesprache die speziell für das selektive Laden von OSM-Daten entwickelt ist. Die gewonnenen

² <https://nominatim.org/>

³ <https://www.qgis.org/de/site/>

Daten werden genutzt, um die lokal laufenden Nominatim- und Valhalla-Dienste aktuell zu halten. Der Daten-Service stellt keine eigenen Anfragen an die anderen beiden Microservices, sondern fragt nur externe Services an und antwortet reaktiv auf lokale Anfragen.

2.3.2 Geoanalyse-Service

Die technische Verarbeitung und Aufbereitung geografischer Datensätze im GeoJSON-Format erfolgt durch den Geoanalyse-Service. Dieser ist mit Python implementiert und greift anwendungsbezogen auf eine lokale Sammlung von Skripten und vordefinierten Verarbeitungsroutinen zurück. Er erhält Anfragen zu bestimmten Auswertungen vom Visualisierungs-Service und fragt die dafür notwendigen Datenbereiche vom Daten-Service ab.

Je nach Anwendungsfall und Tiefe der Datenmanipulation basiert die Datenverarbeitung auf Anfragen an eine kommandozeilengesteuerte QGIS-Installation, welche auch von diesem Service verwaltet wird, oder, falls Fallunterscheidungen auf den aktuell manipulierten Features notwendig werden, direkt auf Python-interne Routinen die über die TurfPy-Bibliothek im Service selbst ausgeführt werden können.

2.3.3 Visualisierungs-Service

Als Anlaufstelle für Anwender und als Visualisierungssystem dient eine zentrale Webseite. Auf dieser befinden sich mehrere Unterseiten, welche unterschiedliche Analyseebenen in Bezug auf Radwege abdecken (Strecken-Ebene, Nachbarschafts-Ebene und Gemeinde-Ebene, siehe Kap. 2.4). Die Präsentation der Analysen und Visualisierungen für einen bestimmten Abschnitt erfolgt, wie bei modernen Webdiensten üblich, durch ein dynamisches Generieren von HTML-Bausteinen, welche an den Webclient des Anwenders geschickt werden.

Im Kern basiert dieser Service auf dem Python Web Framework BottlePy, mit dem die dynamisch erzeugten Visualisierungen und Analysen als Webseite aufbereitet werden. Zur Anzeige dieser Daten werden verschiedene Komponenten genutzt: Chart.js für die Darstellung von Diagrammen und der Visualisierung von statistischen Daten, Leaflet, Mapbox und Turf.js für die Darstellung von Karten und Bootstrap für das übergeordnete Layout der Webseite. Durch die konsequente Verwendung von ähnlichen Assets und dem Wiederverwenden von Komponenten entsteht über alle Visualisierungen hinweg eine einheitliche Darstellung, welche die Interpretation von Ergebnissen erleichtert.

2.4 Analyse- und Visualisierungsebenen

Die Bewertung von Radwegen in urbanen Räumen findet auf mehreren räumlichen Auflösungsebenen statt. Diese unterscheiden sich jeweils darin, welche Aspekte betrachtet und wie etwaige Visualisierungen und Metriken einbezogen werden. Im Folgenden werden die drei in unserem Webservice umgesetzten Analyseebenen genauer beschrieben.

2.4.1 Fahrtstrecke

Als Einstieg in den lokalen Kontext eines Bürgers oder eines Planungsvorganges, nimmt dieses Modul eine real existierende Fahrtstrecke als Eingabe (wie z. B. aufgenommen von einem Radfahrer) und teilt sie in einzelne gerade Segmente auf. Es wird eine abstrahierte Note für jedes Liniensegment gebildet, über welche später basierend auf der Segment-Länge eine Durchschnittsnote für den Gesamtweg gebildet wird (siehe Abb. 2).

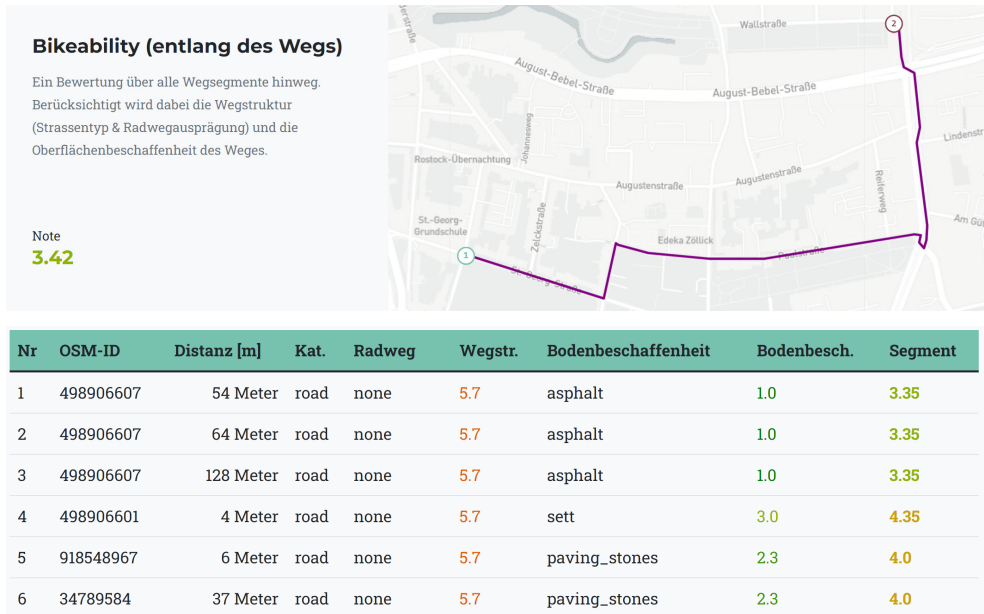


Abb. 2: Eine Visualisierung im Modul zur Streckenanalyse. Oben ist eine Ansicht des geladenen Weges mit einer Gesamtnote gezeigt, unten eine (reduzierte) Auflistung von Wegsegmenten. Die Wegsegmente enthalten Noten zur Wegstruktur, Bodenbeschaffenheit, sowie eine Segment-Gesamtnote.

Die Noten der Segmente setzen sich dabei zusammen aus einer Punktbewertung für den Straßentyp und die Art des Radwegs, welche in eine Schulnote (1,0 bis 6,0 in Schritten von 0,3) namens *Wegstruktur* zusammengesetzt werden, und einer Schulnote für die *Bodenbeschaffenheit* des Segments. Aus diesen Noten wird der Mittelwert gebildet. Neben der abstrahierten Note werden für jedes Segment auch weitere konkrete Geoinformationen dynamisch ausgegeben und aufgelistet.

2.4.2 Nachbarschaft

Die Analyse von Erreichbarkeiten bezogen auf die Nachbarschaft eines Punktes ist ein erheblicher Schwerpunkt für Menschen, die alltäglich auf das Wegenetz in ihrer Umgebung zugreifen. Dieser Teil der Analyse befasst sich daher mit der Fahrradfreundlichkeit um einen beliebig gesetzten Punkt.

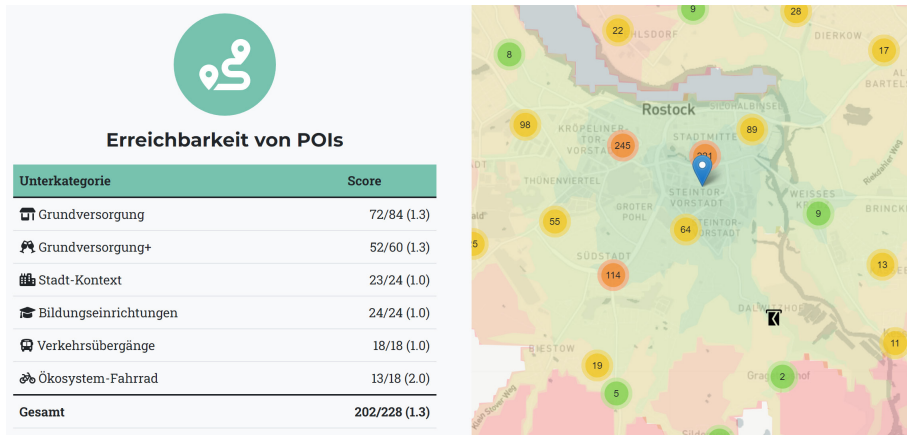


Abb. 3: Eine Visualisierung im Modul zur Nachbarschaftsanalyse. Gezeigt ist eine Detail-Visualisierung zur Erreichbarkeit verschiedener POIs. Über die Karte können Informationen bis hinunter zum Routing zu einzelnen POIs aufgerufen werden.

Als Umgebung gelten hier räumliche Regionen, die ein Radfahrer in den Zeitintervallen 5, 10, 15, 20, 25 und 30 Minuten erreichen kann. In dem größten umschließenden Segment werden die drei Indikatoren *Wegstruktur/-beschaffenheit*, *Erreichbarkeit von POIs* und *Topografie* mit Schulnoten bewertet. Die Kombination dieser Faktoren resultiert aus deren Vorkommen in anderen Bikeability-Indizes (siehe Sektion 2.1) und der Möglichkeit die notwendigen Daten über OSM maschinenverarbeitbar abzufragen. Die Fahrradfreundlichkeit einer Umgebung kann damit ad hoc und für jeden beliebigen Punkt berechnet werden.

Für die *Wegstruktur* wird die Bewertungsmethode aus Sektion 2.4.1 auf alle Radwege angewendet, die vom Bezugspunkt zu einem POI führen. Aus den Noten all dieser Radwege wird dann eine Durchschnittsnote gebildet. Genauso wird bei der *Topografie* jedem dieser Radwege, basierend auf den Steigungen die ein Radfahrer überwinden müsste, ein Schwierigkeitsgrad zugeordnet und dann der durchschnittliche Schwierigkeitsgrad über alle Wege benotet. Für die *Erreichbarkeit der POIs* wird eine Liste an Themen zusammengestellt (z. B. Grundversorgung und Bildungseinrichtungen), und für jedes Thema die relevanten POIs in den sechs Erreichbarkeitszonen gesammelt. Jedes Thema erhält, basierend auf der zeitlichen Erreichbarkeit seiner POIs, eine Schulnote (siehe Abb. 3), aus der eine Durchschnittsnote gebildet wird. Die Durchschnittsnoten der Indikatoren werden schlussendlich gleichwertig zusammengerechnet und in eine Gesamtnote für die Bikeability der Nachbarschaft um den gewählten Punkt zusammengefasst.

Da hier jeder Nutzer einen eigenen Punkt setzen kann, die schlussendlichen Ergebnisse also nicht für den nächsten Nutzer vorgehalten werden können, ist es wichtig eine ausreichende Performance sicherzustellen. Auf einem lokalen Testserver mit Hardwareausstattung auf Konsumenten-Level betrug die durchschnittliche Laufzeit dieser Analyse für 100 zufällig gewählte Punkte in Mecklenburg-Vorpommern 76,5 Sekunden, mit einer Standardabweichung von 24,11 Sekunden. Die einzelne Laufzeit hängt stark von der Anzahl der Features in den jeweiligen Umgebungsgrenzen ab. Der Nutzer kann diese Zeit entweder abwarten oder sich nach Ablauf der Verarbeitung benachrichtigen lassen, um die generierte Seite neu zu öffnen.

2.4.3 Gemeinde

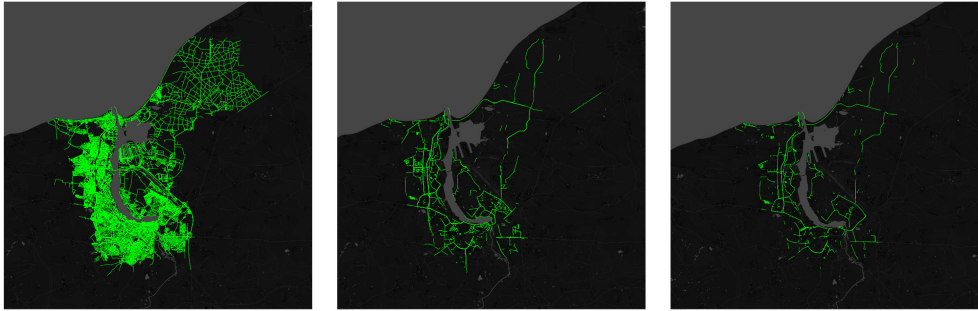


Abb. 4: Eine Visualisierung im Modul zur Gemeindeanalyse (am Beispiel der Stadt Rostock). Sie zeigt von links nach rechts das gesamte Straßennetz, das Radwegenetz und das Netz von baulich getrennten Radwegen.

Der analytische Ansatz auf der Ebene von Gemeinden betrachtet im Allgemeinen einen größeren Bereich als die Umgebungsanalyse. Bisherige Ansätze in dieser Auflösung, wie z. B. der ADFC-Fahrradklima-Test⁴, basieren zumeist entweder auf Expertenanalysen oder Umfragen. Die hier erstellte Methodik ist ein iterativ und generisch anwendbarer Ansatz zur Einschätzung der Bikeability in festen Gemeindegrenzen, welcher ohne Experteneinschätzungen oder Umfragen operiert. Auch diese Analyse basiert auf OSM-Daten.

Nach der Auswahl einer Gemeinde auf der Webseite greift der Analyse-Service den Job auf und durchläuft Verarbeitungs- und Analyseschritte ähnlich zur Umgebungsanalyse. Das gesamte Wegenetz der Gemeinde wird hinsichtlich Wegstruktur und -beschaffenheit aufgeschlüsselt (siehe Abb. 4). Die POI-Analyse wird jedoch umgekehrt, indem die Erreichbarkeitszonen von allen POIs eines Themas berechnet und dann in eine themenbezogene Gesamterreichbarkeit kombiniert werden. Anstatt nur in Bezug auf einen vom Nutzer gesetzten Punkt zu stehen, wird so das gesamte Stadtgebiet abgedeckt. Diese POI-Erreichbarkeiten werden dann räumlich mit den tatsächlich bewohnten Gebieten verknüpft, um zu veranschaulichen, wie gut der tatsächliche Lebensraum in einer Gemeinde mit bestimmten Klassen von POIs ausgestattet ist.

Eine Note wird an dieser Stelle aufgrund der Komplexität dieser Fragestellungen nicht generiert, stattdessen stehen hier Karten-Visualisierungen im Vordergrund die einen schnellen Überblick über das gesamte Gemeindegebiet geben können.

3 Diskussion

Die vorgestellten Ansätze zeigen, dass es unter Verwendung von Web-Frameworks und offenen Geodaten möglich ist, Umgebungen für Radfahrer dynamisch und on-demand einzuschätzen und zu bewerten (*Anforderung 4*). Im Vergleich zu derzeit verfügbaren Analysen

⁴ <https://fahrradklima-test.adfc.de/>

und Indizes, wie dem BikeScore⁵, dem ADFC-Fahrradklima (Siehe Sektion 2.4.3), oder dem Copenhagenize Index⁶, läuft die hier gezeigte Methode komplett automatisiert und ohne Eingriff durch einen Experten ab, und es wird kein spezielles Fachwissen benötigt, um die Ergebnisse zu interpretieren (*Anforderung 5*). Auf den Prototypen kann jederzeit und von jedem Gerät mittels Webbrowser zugegriffen werden (*Anforderung 1*). Durch die Nutzung von OSM-Daten kann außerdem eine ausreichende Datenqualität und Nutzbarkeit im gesamten deutschen oder sogar europäischen Raum sichergestellt werden (*Anforderung 2* und *3*).

Die unterschiedlichen räumlichen Auflösungen (Gemeinden, Umgebungen zu Bezugspunkten und Wegsegmente) zur Bewertung der Fahrradfreundlichkeit ermöglichen es komplexe räumliche Zusammenhänge im Stadtverkehr zu erfassen und zu prüfen. Während bei der Priorisierung von Bauprojekten die gemeindeweite Sicht besonders relevant sein mag, ist für das einzelne Verfahren vor allem der Einfluss auf die Erreichbarkeit von POIs in der direkten Umgebung wichtig.

Die modulare Implementierung lässt sich im Detail einfach anpassen und durch weitere Indizes ergänzen, sowie näher an bisherige und zukünftige wissenschaftliche Ansätze angleichen. Denkbar (und teilweise schon prototypisch implementiert) sind hier z. B. Erweiterungen zur Luftqualität, Feinstaubbelastung und Straßenlärm.

Aufgrund der freien Auswahl der Analysegebiete lassen sich auch Bereiche auswählen, auf denen die Datenlage nicht hinreichend gut für eine sinnvolle Analyse ist. Dies ist vor allem im ländlichen Raum der Fall. Eine automatische Abschätzung der Datenqualität wäre in diesen Bereich sinnvoll, damit Anwender die ermittelten Ergebnisse besser einordnen können.

4 Ausblick

Da aktuell nur der Ist-Zustand visualisiert werden kann, kann das System in Planungsprozessen auch nur zur Kommunikation vor dem Start einer Planung dienen. In Zukunft ist vorgesehen, durch die lokal laufende Valhalla-Instanz nicht nur den Ist-Zustand zu bewerten, sondern auch planerische Eingriffe dynamisch einzupflegen und zu bewerten. Dies wird das System noch stärker von bestehenden Bikeability-Scores abgrenzen.

Dies ist besonders dann wertvoll, wenn verschiedene Varianten einer geplanten Situation generiert werden. Diese Varianten können dann mit den hier entwickelten Tools auf mehreren Auswertungsebenen betrachtet werden. Anwohner könnten z. B. selbst prüfen, wie eine Wegplanung ihre bisherige Radroute beeinflussen, oder wie sich die Erreichbarkeit bestimmter POIs in ihrer Umgebung verbessern würde. Klar quantifizierte und verständlich visualisierte Auswertungen könnten hier eine Diskussionsbasis für Planungsbesprechungen bis hin zu Bürgerbeteiligungen bieten, die in derzeitigen Prozessen oft zu nebulös bleiben. Der Prototyp soll in Zukunft durch Experteninterviews und Nutzerstudien auf seine praktische Anwendbarkeit in realen Planungsprozessen überprüft und weiterentwickelt werden.

⁵ <https://www.walkscore.com/bike-score-methodology.shtml>

⁶ <https://copenhagenizeindex.eu>

Literatur

- De Lange, N. (2020). *Geoinformatik in Theorie und Praxis: Grundlagen von Geoinformationssystemen, Fernerkundung und digitaler Bildverarbeitung*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Gehring, D. B. (2017). *Bikeability-Index für Dresden – Wie fahrradfreundlich ist Dresden?: Eine Untersuchung der Fahrradfreundlichkeit mithilfe Geographischer Informationssysteme* (Masterarbeit, Technische Universität Dresden).
- Gerike, R., & Vallée, D. (2021). Netzplanung und Netzgestaltung. *Stadtverkehrsplanung Band 3: Entwurf, Bemessung und Betrieb*, 97–124.
- Innerebner, M., Böhlen, M., & Gamper, J. (2013). ISOGA: a system for geographical reachability analysis. In: *Web and Wireless Geographical Information Systems: 12th International Symposium, W2GIS 2013, Banff, AB, Canada, April 4-5, 2013* (pp. 180–189). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Jonietz, D., & Timpf, S. (2012). Entwicklung eines GIS-basierten Bikeability-Index am Beispiel der Stadt Augsburg. In: M.-O. Löwner, F. Hillen, & R. Wohlfahrt (Eds.), *Geoinformatik 2012 „Mobilität und Umwelt“* (pp. 83–90). Aachen: Shaker.
- Klinkhardt, C., Woerle, T., Briem, L., Heilig, M., Kagerbauer, M., & Vortisch, P. (2021). Using OpenStreetMap as a data source for attractiveness in travel demand models. *Transportation Research Record*, 2675(8), 294–303.
- McNeil, N. (2011). Bikeability and the 20-min neighborhood: How infrastructure and destinations influence bicycle accessibility. *Transportation Research Record*, 2247(1), 53–63.
- RASt (2006). *Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen 2006*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV).
- Schmid-Querg, J., Keler, A., & Grigoropoulos, G. (2021). The munich bikeability index: A practical approach for measuring urban bikeability. *Sustainability*, 13(1), 428.
- Schoedon, A., Trapp, M., Hollburg, H., Gerber, D., & Döllner, J. (2019, September). Web-based visualization of transportation networks for mobility analytics. In: *Proceedings of the 12th International Symposium on Visual Information Communication and Interaction* (pp. 1–5).
- UBA (2017). *Die Stadt für Morgen. Umweltschonend mobil – lärmarm – grün – kompakt – durchmischt*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.