



# Visuelle Kommunikation von Fahrradroutes mittels kartographischer Symbolisierung

Stefan Fuest<sup>1</sup>  · Jens Golze<sup>1</sup>  · Oskar Wage<sup>1</sup>  · Udo Feuerhake<sup>1</sup>  · Sharon Dornbusch<sup>1</sup> · Monika Sester<sup>1</sup>

Received: 25 October 2022 / Accepted: 22 December 2022 / Published online: 27 February 2023  
© The Author(s) 2023

## Zusammenfassung

Mit zunehmender Förderung nachhaltiger Mobilitätsformen im Rahmen der Verkehrswende stellt das Fahrrad eine umweltfreundliche Alternative zum motorisierten Individualverkehr dar - insbesondere zur Bewältigung innerstädtischer Wege. Im Gegensatz zu Autofahrenden hängt der empfundene Fahrkomfort und das Sicherheitsempfinden von Radfahrenden jedoch stark von Routenmerkmalen wie der Oberflächenbeschaffenheit oder der Verkehrsinfrastruktur ab. Aktuell verfügbare Systeme zur Fahrradnavigation berücksichtigen diese für die Routenwahl von Radfahrenden relevanten Faktoren jedoch kaum und die Visualisierung beschränkt sich vielfach auf eine einfache Hervorhebung der empfohlenen Route. In dieser Arbeit wird daher untersucht, inwieweit sich verschiedene kartographische Darstellungsvarianten für Fahrradroutes zur visuellen Kommunikation der Routenmerkmale *Art des Untergrunds*, *Untergrundrauigkeit*, *Geländeneigung* und *Fahrtunterbrechungen*, als angemessen erweisen. Im Rahmen einer Nutzerbefragung wird die *Effektivität*, *Attraktivität*, *Eignung* und *Entbehrlichkeit einer Legende* der verschiedenen Darstellungsvarianten für die unterschiedlichen Routenmerkmale überprüft. Die Ergebnisse der Umfrage zeigen auf, dass viele der vorgeschlagenen Visualisierungsvarianten angemessen für die visuelle Kommunikation von Fahrradroutes sind. Dies betrifft insbesondere Farbdarstellungen sowie Darstellungen mit Symbolen oder Signaturen. Hinsichtlich der getesteten Fahrradrouteigenschaften hängt die angemessenste Darstellung jedoch stark von der zu kommunizierenden Information ab. Die Erkenntnisse dieser Studie sollen zur Entwicklung von speziell auf die Bedürfnisse der Radfahrenden zugeschnittenen Routenvisualisierungen beitragen und somit Entwicklern von Fahrradnavigationssystemen bei Designentscheidungen unterstützen.

**Keywords** Routengestaltung · Fahrradnavigation · Visuelle Variablen · Nutzerbefragung · Fahrkomfort · Mikro-Mobilität

## Visual Communication of Bicycle Routes Using Cartographic Symbols

### Abstract

With the increasing promotion of sustainable forms of mobility in the context of the traffic policies, bicycles represent an environmentally friendly alternative to motorized private transport. This especially accounts for coping with inner-city routes. However, in contrast to car drivers, the perceived riding comfort and safety of cyclists strongly depends on route characteristics, such as surface conditions or traffic infrastructure. However, currently available bicycle navigation systems hardly consider these factors relevant for the route choice of cyclists, and the visualization is often limited to a simple highlighting of the recommended route. Therefore, this article investigates the appropriateness of different cartographic representations of bicycle routes for the visual communication of route characteristics, such as type of terrain, terrain roughness, terrain gradient,

---

✉ Stefan Fuest  
fuest@ikg.uni-hannover.de  
Jens Golze  
golze@ikg.uni-hannover.de  
Oskar Wage  
wage@ikg.uni-hannover.de

Udo Feuerhake  
feuerhake@ikg.uni-hannover.de  
Monika Sester  
sester@ikg.uni-hannover.de

<sup>1</sup> Institut für Kartographie und Geoinformatik, Leibniz Universität Hannover, Appelstraße 9a, 30167 Hannover, Germany

and interruptions. A user survey is conducted to assess the effectiveness, attractiveness, appropriateness, and dispensability of a legend of the various display options for the different route features. The results of the survey indicate that many of the proposed visualization variants are appropriate for the visual communication of bicycle routes. This concerns in particular color representations as well as representations using symbols. However, with respect to the bicycle route features tested, the most appropriate representation heavily depends on the information being communicated. The findings of this study should contribute to the development of route visualizations that are specifically tailored to the needs of cyclists and thus support developers of bicycle navigation systems in making design decisions.

## 1 Einleitung

In Zeiten eines zunehmenden Bewusstseins für die Notwendigkeit der Umsetzung einer Energie- und Verkehrswende mit dem Ziel, umweltfreundliche, nachhaltige Mobilitätsformen zu fördern, stellt das Fahrrad ein attraktives Fortbewegungsmittel dar und erfreut sich steigender Beliebtheit - insbesondere zur Bewältigung innerstädtischer Wege (Nobis 2019). Dabei ist das Potenzial des Fahrradverkehrs gerade in Ballungsräumen noch nicht ausgeschöpft und weitere Entlastungen für die Bevölkerung und Umwelt durch weniger Kraftverkehr sind möglich (Umweltbundesamt 2021). Während das Radfahren sowohl aus umwelttechnischen als auch aus gesundheitlichen Gründen eine attraktive Alternative zum motorisierten Individualverkehr darstellt, kommen Radfahrende in höherem Maße mit Umwelteinflüssen und den Gegebenheiten der Strecke in Berührung. Diese Voraussetzungen führen dazu, dass Routenwahlfaktoren von Fahrradfahrenden in vielen Fällen von denen der Autofahrenden abweichen.

Arbeiten zur Routenwahl von Fahrradfahrenden wie beispielsweise von Bovy und Bradley (1985), Broach et al. (2012) und zuletzt von McCarthy et al. (2016) und Dane et al. (2019) zeigen eine Vielfalt von relevanten Kriterien neben der Streckenlänge und -dauer auf. Wichtige Faktoren sind demnach die Steigung der Strecke, das Verkehrsaufkommen sowie das Vorhandensein von straßenbegleitenden Radwegen oder Ampelanlagen an Straßenkreuzungen (Hunt und Abraham 2007; Aultman-Hall et al. 1997; Stinson und Bhat 2003). Ein weiterer wichtiger Routenwahlfaktor für Fahrradfahrende ist die Oberflächenbeschaffenheit von Radwegen (Bovy und Bradley 1985). Um eine informierte Entscheidung zu erleichtern, und somit neben dem kontinuierlichen Ausbau notwendiger Infrastruktur das Radfahren attraktiver zu machen, sind die vielfältigen Merkmale einer Route verständlich zu kommunizieren. So ist z.B. der individuell empfundene Fahrkomfort stark abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Verkehrsinfrastruktur (Hölzel et al. 2012) sowie von der Steigung der Strecke. Darüber hinaus kann das Sicherheitsempfinden abhängig von den Gegebenheiten entlang der Fahrtstrecke variieren (Lawson et al. 2013). Zur Planung einer Fahrradrouten kommen zumeist etablierte Navigationssysteme zum Einsatz, die jedoch ihre Routenwahlkonzepte und Darstellung für

Kraftfahrzeuge nahezu unverändert auf Radfahrende übertragen. Viele lassen andere Faktoren wie die der Beschaffenheit des Weges oder Steigungen unkommuniziert. Neuartige Ansätze zur Fahrradnavigation berücksichtigen die Berechnung von Routen anhand verschiedener Merkmale, wie beispielsweise die Art der Radfahrverkehrsinfrastruktur oder ihre Untergrundrauigkeit (Huber et al. 2021; Wage et al. 2020).

Neben der Berechnung von Routen entsprechend unterschiedlicher fahrradrelevanter Merkmale, ist vor allem deren *visuelle Kommunikation* von entscheidender Bedeutung, um möglichst intuitiv und unmittelbar über die Eigenschaften der zu fahrenden Route zu informieren, und so eine Routenwahl entsprechend der individuellen Präferenzen der Radfahrenden zu erleichtern. Ein möglicher Ansatz, um dies zu erreichen, ist die graphische Darstellung verschiedener Merkmalsausprägungen so zu variieren, dass intuitiv ersichtlich wird, inwiefern eine Route hinsichtlich eines Merkmals als vorteilhaft kommuniziert wird. Dabei ist wichtig, dass die so verwendete *kartographische Symbolisierung* die zu kommunizierenden Informationen verständlich und in angemessener Form darstellt (MacEachren 1982). Symbolisierung dient demnach als visuelles Mittel, um die Merkmale einer Route zu kommunizieren.

Kartensymbole kommen in vielen Bereichen des Kartendesigns zum Einsatz, so zum Beispiel zur visuellen Kommunikation von Unsicherheiten (MacEachren et al. 2005) oder zur Darstellung von Gefahrenpotenzialen von Umwelteinflüssen (Thompson et al. 2017). Insbesondere im Bereich Verkehr und Routenplanung kann eine geeignete Symbolisierung deutlich zur besseren Nutzbarkeit einer Kartendarstellung beitragen. Ein Beispiel hierfür sind schematische Karten zur Darstellung von Bus- oder Bahnnetzwerken, welche dazu dienen, den Fokus der Betrachtenden mittels geeigneter Symbolisierung auf relevante Merkmale der Umgebung zu lenken (Avelar und Hurni 2006). Neben der Nutzung kartographischer Symbolisierung zur intuitiven Darstellung von Routen, nutzen neuere Ansätze dieses Prinzip, um die Routenwahl Reisender zugunsten einer aus gesellschaftlicher Sicht favorisierten Route zu beeinflussen (Fuest et al. 2021). Insbesondere zur Visualisierung der Verkehrsdynamik können unter anderem Visualisierungen basierend auf dynamischen visuellen Variablen nützlich

sein, und somit die Routenwahl erleichtern (Köbben und Yaman 1995).

Zur Symbolisierung von Routeninformationen kommen verschiedene visuelle Variablen zur Darstellung von linienhaften Objekten zum Einsatz. Merkmale von Routenabschnitten werden beispielsweise durch farbliche Variationen, Variationen in der Linienbreite oder der Linientextur (Bertin 1983) sowie Sättigung und Transparenz (MacEachren et al. 2005) dargestellt. Diese visuellen Variablen können auch zur Darstellung von punkthaften Objekten, wie beispielsweise Haltepunkten entlang einer Route, verwendet werden, wobei auch Symbole oder Signaturen zum Einsatz kommen (Kelly 2021). Zur Darstellung der Steigung von Fahrradrouten untersuchten Brügger et al. (2017) die Eignung verschiedener linearer Symbolisierungstypen (Farbe, Pfeile und Geländeprofil), wobei sich die Visualisierung mit farbigen Pfeilen als am effektivsten erwies, das Geländeprofil jedoch von Nutzenden bevorzugt wird.

Während einige der häufig verwendeten Symbole wie beispielsweise die Ampelmetapher zur Darstellung des Verkehrsaufkommens erwartungsgemäß ähnliche Assoziationen bei unterschiedlichen Betrachtenden hervorrufen (Goldsberry 2005), kann die verwendete Symbolik bei anderen Darstellungsarten weniger eindeutig sein. Daher ist es wichtig, die Verständlichkeit, Eignung und Attraktivität einer verwendeten Darstellungsform zu untersuchen.

Während die visuelle Kommunikation von Routeninformationen, wie beispielsweise Verkehrsinformationen, kein neues Konzept ist, beschäftigen sich wenige Arbeiten mit der Symbolisierung von Routeigenschaften von Fahrradrouten (Brügger et al. 2017). Anstelle einer einfachen Hervorhebung der empfohlenen Route, liegt der Fokus dieser Arbeit darauf, den Nutzenden weitere Informationen bezüglich vorteilhafter und unvorteilhafter Routenabschnitte im Hinblick auf verschiedene Streckenmerkmale mittels kartographischer Symbolisierung visuell zu kommunizieren. Dazu werden die *Art des Untergrunds*, *Untergrundrauigkeit*, *Geländeneigung* und *Fahrtunterbrechungen* als Streckeneigenschaften ausgewählt. Diese werden in unterschiedlichen Symbolisierungsvarianten auf einer Karte dargestellt. Im Rahmen einer Umfrage wird die Effektivität, Attraktivität, Eignung und Intuitivität der unterschiedlichen Darstellungsvarianten für die verschiedenen Routenmerkmale überprüft.

Dazu wird in Abschnitt 2 zunächst auf die betrachteten Merkmale, die verwendeten Daten und ihre Kategorisierung eingegangen sowie die untersuchten Visualisierungsvarianten vorgestellt. Abschnitt 3 erläutert den Aufbau und die Realisierung der Nutzerbefragung. Die Ergebnisse der Befragung werden in Abschnitt 4 vorgestellt, diskutiert und die für am angemessensten befundenen Darstellungen werden präsentiert. Zum Abschluss wird in Abschnitt 5 ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben.

## 2 Kartenerstellung

Zur Vorbereitung der Nutzerbefragung wird eine Reihe von Karten erstellt, die jeweils eine Fahrradroute unter Verwendung einer bestimmten Visualisierungsvariante darstellen. Die Basis der dargestellten Informationen in dieser Arbeit bilden die Daten von OpenStreetMap (2021) (OSM), dem Projekt Ride Vibrations in Wage und Sester (2021) und dem digitalen Geländemodell (DGM) der Landeshauptstadt Hannover, Bereich Geoinformationen (2021).

### 2.1 Kategorisierung der Daten

Zur Vorbereitung der Kartenerstellung mittels verschiedener visueller Variablen wird zu Beginn eine Kategorisierung der Daten vorgenommen, welche im Folgenden hinsichtlich der vier verschiedenen Merkmale beschrieben wird. Bei den Merkmalen *Art des Untergrunds* und *Fahrtunterbrechungen* handelt es sich um nominale Daten und bei den Merkmalen *Untergrundrauigkeit* sowie *Geländeneigung* um kontinuierliche Daten. Die Wahl der Merkmale basiert direkt auf der zuvor diskutierten Relevanz von Routeigenschaften bei der Routenwahl und wird unter Berücksichtigung der entsprechenden Datenverfügbarkeit getroffen.

Der verwendete OSM-Datensatz beinhaltet 24 Ausprägungen für das Attribut *surface*, welches die **Art des Untergrunds** beschreibt, darunter z.B. *asphalt*, *gravel* oder *cobblestone*. Basierend auf dem empfundenen Fahrkomfort wird eine Einteilung in fünf Kategorien vorgenommen, von *sehr angenehm* bis *sehr unangenehm*, vgl. Wage et al. (2020). Am angenehmsten ist demnach das Radfahren auf eher glatten Oberflächen wie Asphalt oder Beton, während ein unebener Untergrund aus Kopfsteinpflaster oder Schotter als unangenehm bewertet wird.

Bei dem Fahrradroutenmerkmal **Untergrundrauigkeit** werden die Merkmalsausprägungen direkt anhand der vorliegenden kontinuierlichen Rauigkeitswerte aus Wage und Sester (2021) definiert. Niedrige Werte beschreiben dabei eine geringe Untergrundrauigkeit. Es wird eine Kategorisierung der Rauigkeitswerte vorgenommen, mit der ebenfalls Variablen genutzt werden können, die ordinalskalierte Daten erfordern.

Für das Merkmal **Geländeneigung** liegen nach der Übertragung der Höhen aus dem DGM auf das Wegenetz (OSM) sowohl positive als auch negative Prozentwerte vor, welche die Steigung oder Neigung auf einem Wegsegment beschreiben. Für diese wird anschließend eine Kategorisierung vorgenommen - jeweils zwei Kategorien für Neigungen und Steigungen.

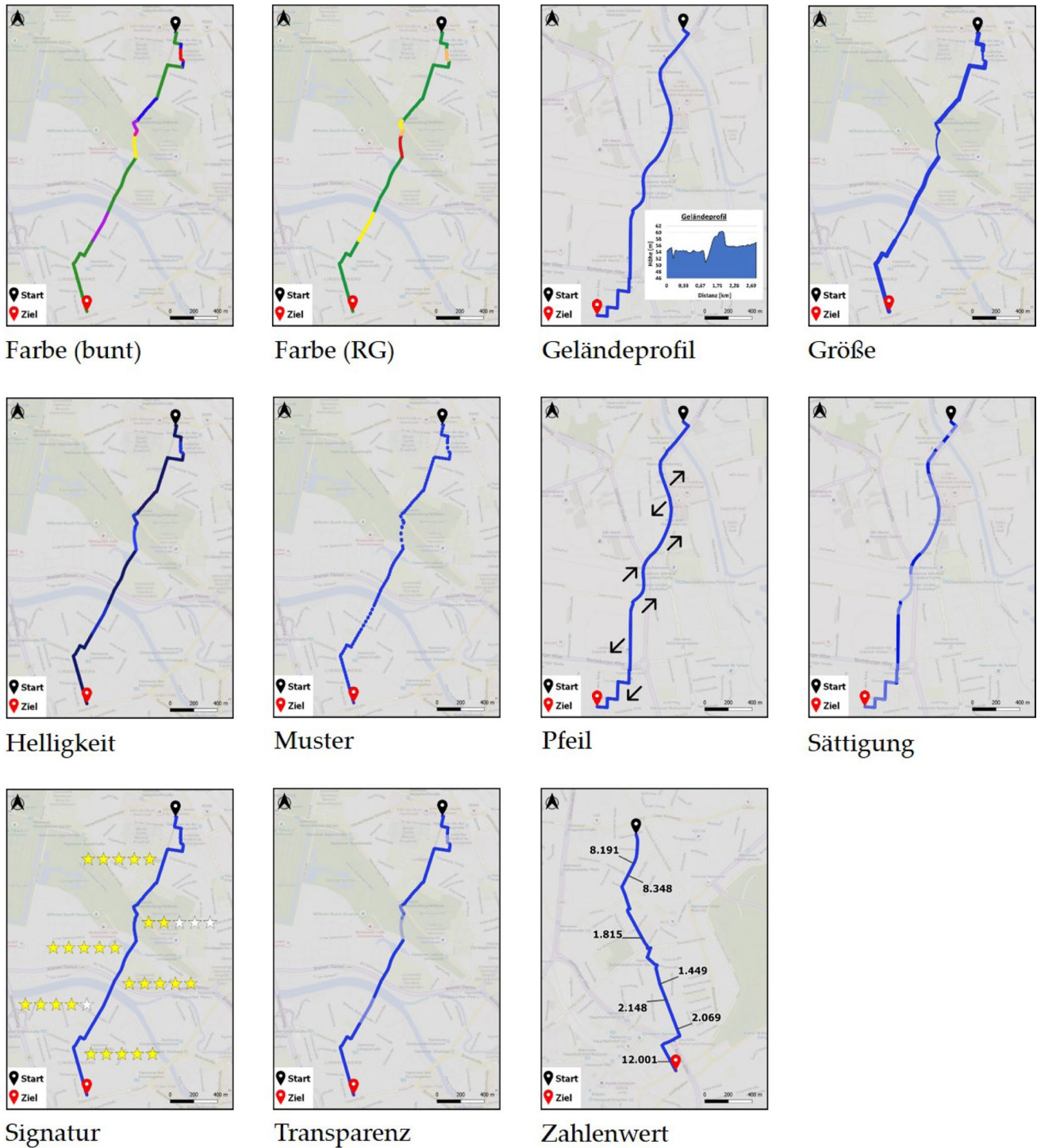


Abb. 1 Visualisierungsvarianten zur Symbolisierung von Linienobjekten

Bezüglich des Merkmals **Fahrtunterbrechungen** (Zebrastrifen, Bahnübergang, Ampel, Stoppschild, Umlaufsperr<sup>1</sup>)

wird eine Einteilung in vier Kategorien vorgenommen, nach absteigender Tolerierbarkeit der Unterbrechung im Fahrtfluss.

<sup>1</sup> ADFC-Positionspapier. ADFC-Empfehlung: Umgang mit Pollern & Umlaufsperrern (<http://www.adfc.de>)

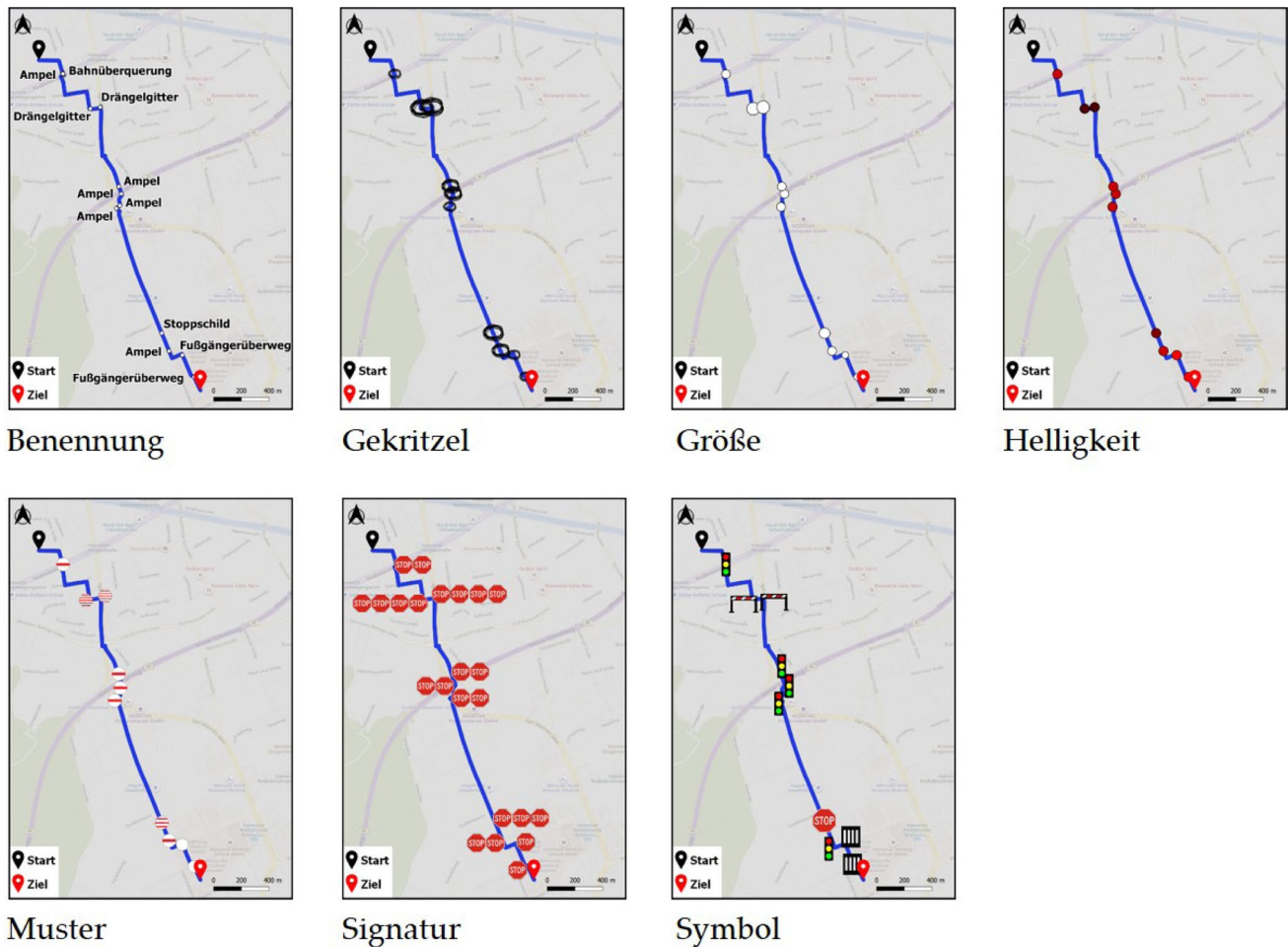


Abb. 2 Visualisierungsvarianten zur Symbolisierung von Punktobjekten

### 2.2 Visualisierungsvarianten

Basierend auf den visuellen Variablen und der Kategorisierung der Daten für die verschiedenen Merkmale werden verschiedene Visualisierungsvarianten erstellt. Für die Merkmale *Art des Untergrunds*, *Untergrundrauigkeit*, und *Geländeneigung* wird die Symbolisierung auf Linienobjekte angewendet, während für das Merkmal *Fahrtunterbrechungen* Punktobjekte symbolisiert werden. Aufgrund der erwarteten unterschiedlichen Eignung der visuellen Variablen zur Symbolisierung bestimmter Merkmale, werden für die verschiedenen Merkmale eine unterschiedliche Anzahl möglicher Visualisierungsvarianten erstellt. Während für die Merkmale *Art des Untergrunds* und *Geländeneigung* acht Varianten erstellt werden, werden für die Merkmale *Untergrundrauigkeit* und *Fahrtunterbrechungen* sieben Varianten angefertigt. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht aller erstellten Visualisierungsvarianten zur Symbolisierung von Linienobjekten, während Abbildung 2 die entsprechenden Varianten zur Symbolisierung von Punktobjekten zeigt.

Für die Visualisierung der vier untersuchten Merkmale wird jeweils eine spezifische Route ausgewählt, die sich im Stadtgebiet von Hannover befindet. Die vier verschiedenen Routen weisen jedoch ähnliche Eigenschaften bezüglich der Länge der Route, der Anzahl der Richtungswechsel, der Fahrtrichtung sowie der Struktur der Route auf. Zum Zweck der Nutzerbefragung beschränkt sich die Beschreibung der Symbolik jeweils auf eine Angabe zu dem festgelegten Start- und Zielpunkt der visualisierten Route.

Im Folgenden wird detaillierter auf die Designeigenschaften der 14 verschiedenen Visualisierungsvarianten bei der Anwendung auf die verschiedenen Merkmale eingegangen.

Die Visualisierungsvariante **Farbe (bunt)** wird ausschließlich auf das Merkmal *Art des Untergrunds* angewendet. Die sieben Oberflächenarten werden durch unterschiedliche Farben dargestellt, wobei das Farbschema als nicht geordnet gewählt wird, da sich die Oberflächenarten nicht eindeutig ordnen lassen.

Die Visualisierungsvariante **Farbe rot-grün (RG)** wird auf die Merkmale *Art des Untergrunds* und *Geländeneigung* angewendet. Während bei der *Art des Untergrunds* entsprechend der Kategorisierung eine Farbskala von grün über gelb und orange zu rot umgesetzt wird, kann die Visualisierung im Falle des Merkmals *Geländeneigung* nur die Ausprägungen grün (Gefälle) oder rot (Steigung) annehmen. Eine grüne Färbung beschreibt dabei immer einen als komfortabel zu kommunizierenden Streckenabschnitt, während rote Farbe einen weniger komfortablen Abschnitt symbolisiert.

Die Visualisierungsvariante **Geländeprofil** wird ausschließlich im Zusammenhang mit dem Merkmal *Geländeneigung* verwendet. Bei dieser Visualisierung werden Variationen im Streckenverlauf nicht direkt anhand der Routendarstellung gezeigt, sondern mithilfe einer graphischen Darstellung des Geländeprofils, die neben der Route zu sehen ist. In dieser Graphik ist außerdem die Höhe über die Distanz vom Startpunkt aufgetragen.

Die Variante **Größe** ist eine der drei Varianten, die auf alle der vier untersuchten Merkmale angewendet wird. Zur Symbolisierung von Linien wird bei dieser Visualisierungsvariante die Linienbreite variiert. Entsprechend der Annahme, dass größere Symbole als bedeutender wahrgenommen werden (Roth 2017), sollen dünne Liniensegmente wenig komfortable Routenabschnitte symbolisieren (unangenehmer Untergrund, hohe Untergrundrauigkeit oder hohe Steigung), und komfortable Abschnitte durch dicke Liniensegmente dargestellt werden. Zur Symbolisierung von Punkten im Falle des Merkmals *Fahrtunterbrechungen* wird die Größe der dargestellten weißen Punkte jedoch so variiert, dass ein großer Punkt auf eine größere *Fahrtunterbrechung* hinweist.

Ähnlich wie bei der Visualisierungsvariante *Größe*, wird die Variante **Helligkeit** auf alle untersuchten Merkmale angewendet. Zur Symbolisierung von Linien wird die Helligkeit so variiert, dass helle Abschnitte die unangenehmsten Untergründe, die höchste Rauigkeit oder die größte Steigung zeigen. Zur Symbolisierung von Punkten im Falle des Merkmals *Fahrtunterbrechungen* wird die Helligkeit der dargestellten Punkte so variiert, dass ein dunkler Punkt auf eine größere *Fahrtunterbrechung* hinweist.

Auch die Visualisierungsvariante **Muster** kommt bei allen vier untersuchten Merkmalen zum Einsatz. Im Falle der drei linienhaften Merkmale wird ein angenehmer Untergrund, eine niedrige Rauigkeit sowie niedrige Neigungswerte mittels durchgezogener Liniensegmente symbolisiert und umgekehrt die am wenigsten bevorzugte Eigenschaft des Merkmals mittels gestrichelter Linie. Zur Symbolisierung der verschiedenen *Fahrtunterbrechungen* werden für diese Variante Kreise mit Muster erstellt. Per se sind die Kreise weiß und beinhalten je nach *Fahrtunterbrechung* und

somit aufsteigender Klasse keinen, einen, drei oder fünf rote Querstreifen.

Die Visualisierungsvariante **Pfeil** findet ausschließlich bei der Symbolisierung des Merkmals *Geländeneigung* Anwendung. Dies geschieht ohne exakte Unterteilung der Neigungswerte, sondern mittels Gliederung in *Neigung* (nach unten gerichteter Pfeile) und *Steigung* (nach oben gerichteter Pfeile).

Die Variante **Sättigung** wird bei allen linienbasierten Merkmalen verwendet. Dabei symbolisieren Abschnitte mit 100 % Sättigung im Falle des Merkmals *Art des Untergrunds* die angenehmsten Untergründe, im Falle des Merkmals *Untergrundrauigkeiten* die Abschnitte mit niedrigster Rauigkeit sowie im Falle der *Geländeneigung* die Segmente mit der zum Fahrradfahren angenehmsten Neigung.

Die Visualisierungsvariante **Signatur** wird im Falle der Merkmale *Art des Untergrunds* und *Untergrundrauigkeiten* mittels einer Signatur aus gelben Sternen umgesetzt, wobei fünf ausgefüllte Sterne für die beste Klasse stehen. Im Falle des punktbasierten Merkmals *Fahrtunterbrechungen* wird die Klasse mit den akzeptabelsten Unterbrechungen, den Zebrastreifen, mit einem Stoppschild kartiert. Die zweite und dritte Klasse werden jeweils mit zwei bzw. drei Schildern symbolisiert, während die vierte Klasse mit vier Stoppschildern für die Umlaufsperrung als am wenigsten tolerierbare Klasse dargestellt wird.

Bei der Visualisierungsvariante **Transparenz** wird die Transparenz eines Liniensegments so variiert, dass undurchsichtige Abschnitte (100 % Deckkraft) im Falle des Merkmals *Art des Untergrunds* die angenehmsten Untergründe zeigen, sowie im Falle des Merkmals *Untergrundrauigkeiten* die Abschnitte mit niedrigster Rauigkeit.

Bei der Visualisierungsvariante **Zahlenwert** werden im Falle des Merkmals *Untergrundrauigkeiten* die Zahlenwerte auf drei Nachkommastellen genau angegeben, während im Falle des Merkmals *Geländeneigung* die Steigungs- und Neigungswerte auf zwei Nachkommastellen genau an der Route angegeben werden. Die Werte werden jeweils mittels Führungslinien mit dem entsprechenden Routensegment verbunden.

Die Visualisierungsvariante **Benennung** wird ausschließlich zur Symbolisierung der Punktobjekte des Merkmals *Fahrtunterbrechungen* verwendet. Die verschiedenen Unterbrechungsarten werden durch Beschriftungen gekennzeichnet, und mittels weißer Punkte an der jeweils entsprechenden Position entlang der Route lokalisiert.

Die Visualisierungsvariante **Gekritzelt** (Carroll et al. 2020) wird ebenfalls ausschließlich zur Symbolisierung von *Fahrtunterbrechungen* verwendet. Dabei repräsentieren große Kringel am wenigsten tolerierbare Unterbrechungen (Umlaufsperrung) und kleine Kringel die tolerierbarsten (Zebrastreifen).

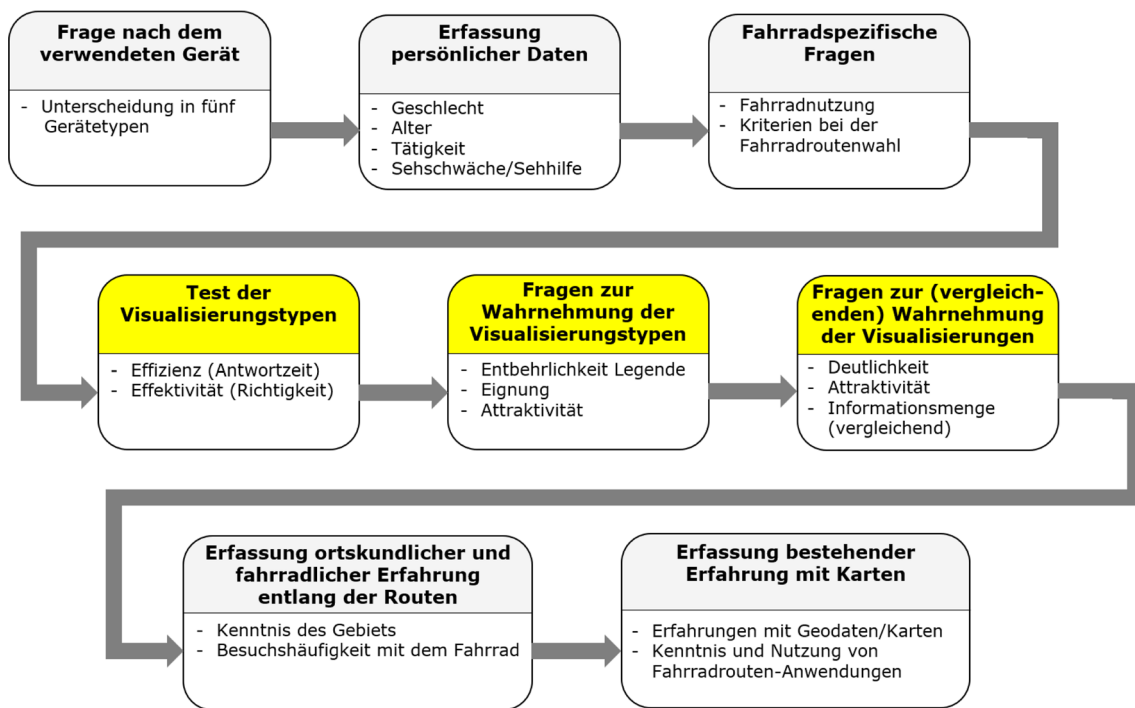


Abb. 3 Schematischer Aufbau der Befragung, der Hauptteil ist gelb hervorgehoben

Auch die Variante **Symbol** kommt nur bei der Visualisierung von Fahrtunterbrechungen zum Einsatz. Die vier verschiedenen Arten von Unterbrechungen werden mittels realitätsnaher Icons eindeutig dargestellt (Peirce 1991).

### 3 Empirische Untersuchung

Um zu untersuchen, welche der erstellten Darstellungsvarianten Fahrradroutr am angemessensten im Hinblick auf Effektivität, Attraktivität, Eignung und Eindeutigkeit visualisieren, wird eine Nutzerbefragung durchgeführt. Diese wird als Online-Umfrage mittels der Umfrageplattform *LimeSurvey* in deutscher Sprache vorbereitet.

#### 3.1 Aufbau der Nutzerbefragung

Entsprechend der zuvor beschriebenen zu untersuchenden Merkmale von Fahrradroutr hinsichtlich des Fahrkomforts wird die Umfrage separat für die vier Merkmalsgruppen *Art des Untergrunds*, *Untergrundrauigkeit*, *Geländeneigung* und *Fahrtunterbrechungen* vorbereitet. Die Teilnehmenden werden dabei zufällig einer der vier Merkmalsgruppen zugeordnet. Innerhalb der Gruppe bearbeiten alle Teilnehmenden jedoch dieselbe Abfolge von Aufgaben. Während bezüglich des Umfrageaufbaus keine Unterschiede zwischen den Gruppen bestehen, gibt es einige Variationen bei der Verwendung der Visualisierungsvarianten, wobei diese

zwecks sinnvollen Einsatzes der Visualisierungen jeweils an das Merkmal angepasst werden. Für jede der Merkmalsgruppen besteht die Umfrage aus acht Frageblöcken. Der gesamte Aufbau der Nutzerbefragung wird in Abbildung 3 dargestellt.

Die Umfrage beginnt mit der Frage nach dem zur Teilnahme genutzten Gerät, wobei als mögliche Gerätetypen fünf Optionen vorgegeben werden (*Computer*, *Laptop*, *Tablet*, *Smartphone* und *sonstiges*). Der zweite Frageblock besteht aus Fragen zur Person hinsichtlich des Geschlechts, des Alters, der derzeitigen Tätigkeit, des Tragens einer Sehhilfe und bestehender Sehschwächen. Diese Fragen dienen vorrangig der Charakterisierung der Stichprobe.

Beim darauffolgenden Befragungsabschnitt liegt der Fokus auf fahrradspezifischen Fragen wie beispielsweise der Kriterienwahl bezüglich Fahrradroutr. Dazu werden drei Fragen zu den Aspekten *Wegstruktur*, *Fahrkomfort* sowie *Wahrnehmung und Schönheit* gestellt, bei denen die Befragten aus jeweils vier Antwortmöglichkeiten das für sie wichtigste Kriterium bei der Routenwahl auswählen sollen. Alternativ kann die Option *keines der genannten Kriterien* angekreuzt werden. Zur Auswahl stehen unter dem Aspekt der Wegstruktur die *Länge der Route*, der *Typ der Wege* (separater Fahrradweg, Schutzstreifen oder anderes), die *Breite der Wege* und die *Anzahl an Abbiegungen*. Beim Fahrkomfort kann die *Art des Untergrunds* (z.B. Asphalt, Kopfsteinpflaster, Splitt), die *Untergrundrauigkeit*, die *Geländeneigung* oder die *Anzahl an Fahrtunterbrechungen*

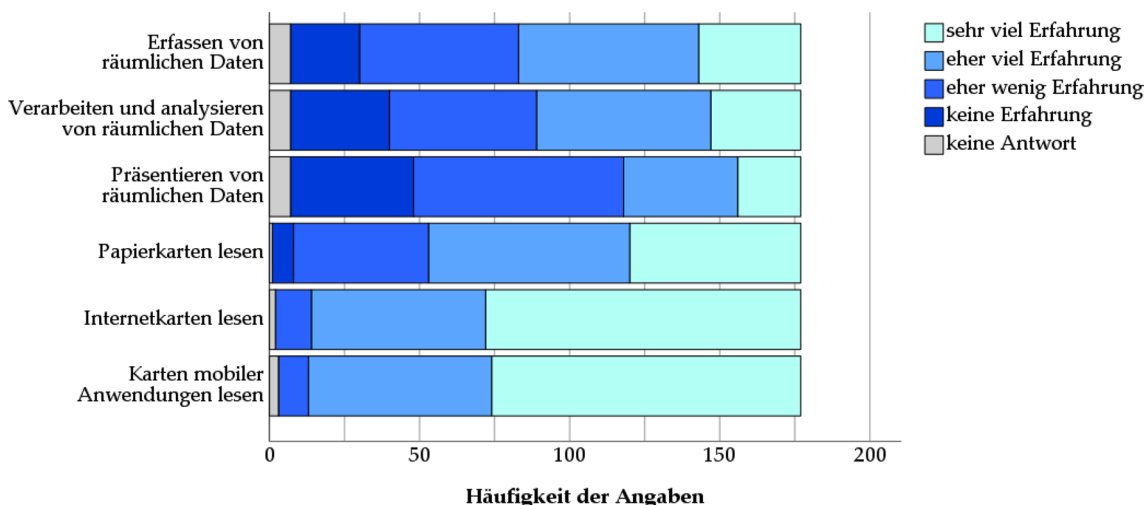


Abb. 4 Selbsteinschätzung der Befragten bezüglich Geodaten und Karten

(z.B. an Ampeln oder Stoppschildern) als wichtigstes Kriterium ausgewählt werden. Bezüglich der Wahrnehmung und Schönheit einer Route stehen die Kriterien *Umgebung*, *Geräuschkulisse*, *Lufterlebnis* und *Straßenbeleuchtung* zur Wahl.

Der Hauptteil der Umfrage beginnt mit einem Test der verschiedenen Visualisierungstypen. Im Rahmen dieses Tests wird auf einer Seite jeweils nur eine Darstellungsform gezeigt und die Befragten haben die Aufgabe, aus zwei Routensegmenten (markiert mit A und B) jenes zu wählen, welches bestmöglich zur Fragestellung passt. Die Darstellungsformen werden in zufälliger Reihenfolge gezeigt.

Der darauffolgende Fragenblock umfasst verschiedene Fragen zur Wahrnehmung der Visualisierungstypen. Neben einer Einschätzung zur Entbehrlichkeit einer Legende bei den Visualisierungstypen, werden die Teilnehmenden gebeten, die Attraktivität der Darstellungen, sowie deren Eignung zur visuellen Kommunikation des gezeigten Fahrradroutenmerkmals subjektiv zu bewerten. Die Einschätzung zur Entbehrlichkeit einer Legende soll Informationen über die Eindeutigkeit und Verständlichkeit der verwendeten Symbolisierung liefern. Aus diesem Grund werden alle Karten zum Zweck der Studie ohne Legende dargestellt. Bei welcher Darstellung dann eine Beschreibung der verwendeten Symbolik als fehlend erachtet wird, kann einzeln angekreuzt werden, wobei die Möglichkeit besteht, nur eine, mehrere, alle oder keine Visualisierung zu wählen. Für die Frage nach der Attraktivität und Eignung wird jeweils eine der Abbildungen gezeigt und unterhalb dieser eine Dual-Matrix mit einer Likert-Skala zu jeder Fragestellung gezeigt. Die fünfstufigen Skalen beinhalten die Werte 1) *vollkommen unattraktiv*, 2) *eher unattraktiv*, 3) *unentschieden*, 4) *eher attraktiv*, 5) *sehr attraktiv* und 1) *vollkommen ungeeignet*,

2) *eher ungeeignet*, 3) *unentschieden*, 4) *eher gut geeignet*, 5) *sehr gut geeignet*.

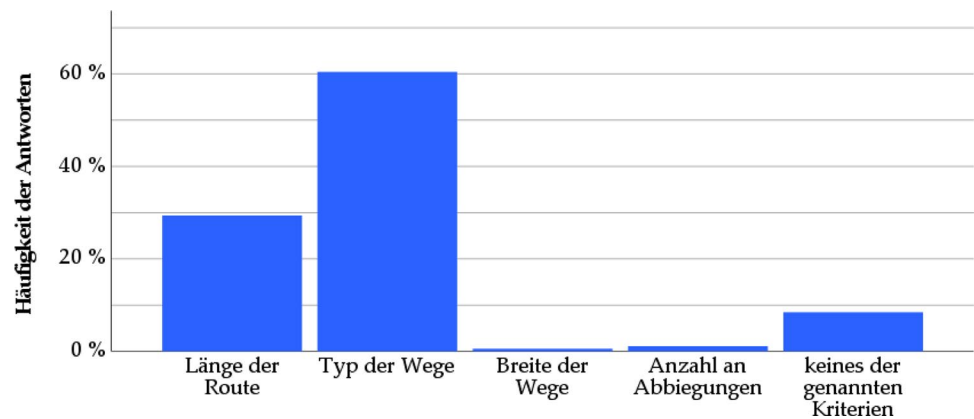
Vor Abschluss der Umfrage werden die Befragten in zwei Schritten nach ihren Vorkenntnissen und Erfahrungen bezüglich der Standorte der Fahrradrouten sowie räumlicher Daten, Kartennutzung und Anwendungen im Bereich der Fahrradroutenplanung befragt. Der erste Teil umfasst Fragen zur Kenntnis des Gebiets, welches die dargestellte Route durchquert, sowie zur Häufigkeit des Fahrradfahrens in jenem Gebiet. Die Einschätzung der Ortskenntnis erfolgt in den Kategorien 1) *gar nicht*, 2) *kaum*, 3) *weniger gut*, 4) *gut*, 5) *sehr gut*. Die Häufigkeit des Fahrradfahrens im Gebiet soll quantifiziert werden in 1) *nie*, 2) *sehr selten*, 3) *mehrmals im Jahr*, 4) *mehrmals im Monat*, 5) *mehrmals pro Woche*, 6) *täglich oder fast täglich*. Auf der vorletzten Seite des Fragebogens werden die Teilnehmenden gebeten, ihre Erfahrung bezüglich der Nutzung von Kartendarstellungen anhand einer vierstufigen Skala (Lai und Yeh 2004) einzuschätzen: 1) *keine Erfahrung*, 2) *eher wenig Erfahrung*, 3) *eher viel Erfahrung*, 4) *sehr viel Erfahrung*. Die Umfrage endet mit einer Frage zur Kenntnis und Nutzung von Online-Diensten zum Zwecke der Fahrradroutenplanung wie beispielsweise *Google Maps* mit entsprechender Einstellung oder *Komoot*.

### 3.2 Realisierung der Umfrage

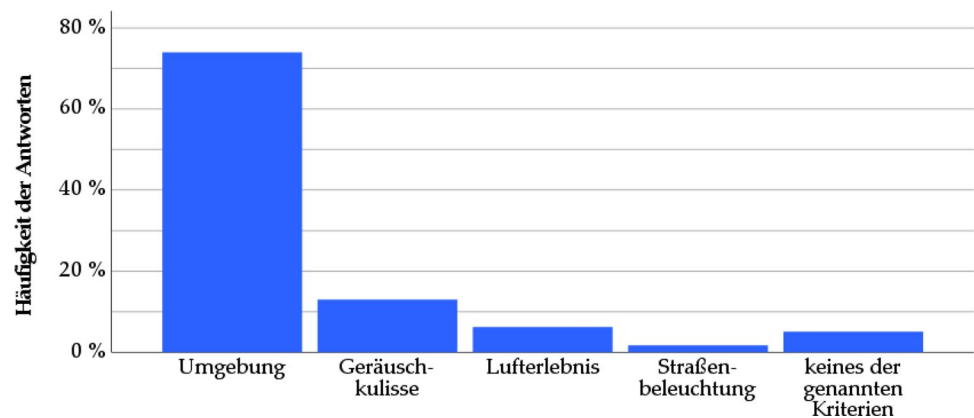
Die zuvor beschriebene Umfrage wird mittels Zugangslink an potenzielle Teilnehmende herangetragen. Die Teilnehmenden werden darüber hinaus über eine Lernplattform der Leibniz Universität Hannover, sowie durch Beiträge in den sozialen Medien und im persönlichen Gespräch, angeworben.



**Abb. 5** Gegenüberstellung ausgewählter Kriterien bei der Fahrradroutenwahl unter dem Aspekt der *Wegstruktur*



**Abb. 6** Gegenüberstellung ausgewählter Kriterien bei der Fahrradroutenwahl unter dem Aspekt der *Wahrnehmung und Schönheit*



### 3.2.1 Charakterisierung der Stichprobe

Insgesamt haben 180 Personen (52,8 % weiblich, 45 % männlich, 1,1 % divers, 1,1 % keine Angabe) an der Umfrage teilgenommen. Nach einer Überprüfung der Daten auf Ausreißer wird eine Stichprobe von  $n = 177$  für die statistische Auswertung verwendet.

Zur Teilnahme an der Umfrage wird am häufigsten ein Smartphone (46,3 %) verwendet, gefolgt von einem Laptop (29,9 %), zu 20,3 % ein Desktop-PC und ein kleiner Anteil der Teilnehmenden absolvierte die Befragung am Tablet (3,4 %).

Bezüglich der Altersverteilung der Teilnehmenden ist hervorzuheben, dass die Altersgruppe der 21- bis 30-Jährigen mit 64,4 % am häufigsten vertreten ist. Darauf folgen die 31- bis 40-Jährigen mit 10,2 % sowie die 41- bis 50-Jährigen und die 51- bis 60-Jährigen mit jeweils 9,0 %. Eine geringe Anzahl Teilnehmender gibt an, 20 Jahre oder jünger zu sein, sowie älter als 60 Jahre zu sein.

Bei insgesamt 97,2 % der Teilnehmenden liegt keine Augenkrankheit oder Rot-Grün-Sehschwäche vor. Bei vorliegender Sehschwäche geben 46,9 % der Teilnehmenden an, ihr Sehvermögen mithilfe einer Sehhilfe zu korrigieren.

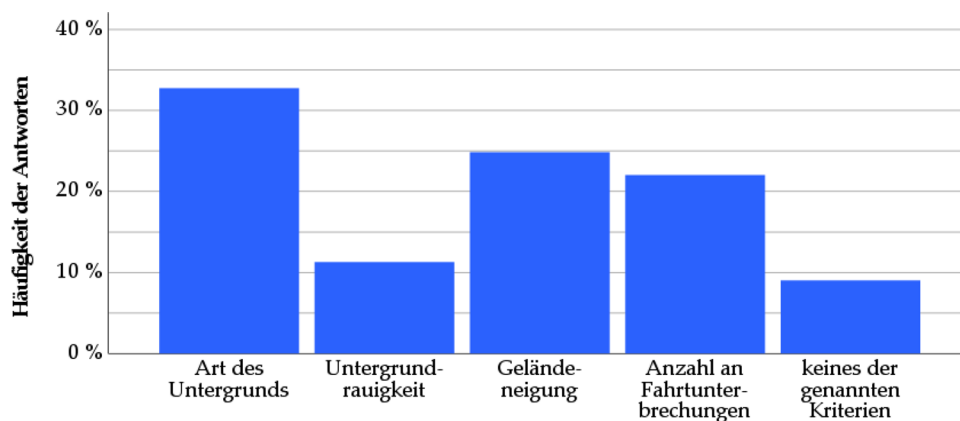
Bezüglich der Erfahrung im Umgang mit Karten (siehe Abbildung 4) geben 70,1 % der Teilnehmenden an, erfahren

oder sehr erfahren im Lesen von gedruckten Karten zu sein. Im Gegensatz dazu schätzen sich noch deutlich mehr Befragte als erfahren oder sehr erfahren ein, was das Lesen von Karten im Internet an Standgeräten (92,1 %) und das Lesen von Karten in mobilen Anwendungen (92,7 %) betrifft. Im Vergleich zum Kartenlesen ist die Erfahrung der Teilnehmenden hinsichtlich der Erfassung, Verarbeitung, Analyse und Präsentation von räumlichen Daten in geringerem Maße ausgeprägt.

#### *Fahrradroutenplaner*

Wie bereits oben erwähnt, werden die Teilnehmenden weiterhin zu ihrer Kenntnis und Nutzung von bestimmten Online-Diensten und -Anwendungen für die Planung von Fahrradrouten befragt. Zur Wahl stehen neben Google Maps mit entsprechender Einstellung, die Routenplaner von OpenCycleMap von OpenStreetMap, Bike-map, Komoot, Naviki und Falk. Während Google Maps den meisten Teilnehmenden bekannt ist (zu 1,1 % unbekannt), wird die Anwendung nur selten zum Zweck der Fahrradroutenplanung eingesetzt (7,3 %). Ungefähr die Hälfte der Befragten nutzt Google Maps am Smartphone (48,0 %) oder ebenso häufig am Smartphone wie am Computer (35,6 %). Deutlich weniger bekannt ist der Routenplaner Komoot (zu 41,8 % unbekannt) in Bezug auf das Fahrradfahren. Von allen Teilnehmenden gaben

**Abb. 7** Gegenüberstellung ausgewählter Kriterien bei der Fahrradroutenwahl unter dem Aspekt des *Fahrkomforts*



26,6 % an, Komoot zu kennen, aber diese Anwendung nicht zu nutzen. Bei Kenntnis wird sie am häufigsten am Smartphone verwendet (22,6 %). Mehr als der Hälfte der Befragten ist die OpenCycleMap (55,9 %), der Routenplaner Falk (70,1 %), die Fahrradroutensammlung Bikemap (78,5 %) und der Radroutenplaner Naviki (88,1 %) unbekannt. Ist die entsprechende Anwendung bekannt, dann wird sie zu 22,0 % (OpenCycleMap), zu 23,7 % (Falk), zu 17,5 % (Bikemap) oder zu 8,5 % (Naviki) nicht zur Planung einer Fahrradroute eingesetzt. Die OpenCycleMap wird wie Falks Routenplaner überwiegend am Computer (11,3 % und 2,8 %) genutzt, Bikemap und Naviki größtenteils am Smartphone (2,3 % und 1,7 %). Einem Drittel der Befragten (36,2 %) sind keine sonstigen Anwendungen im Sinne der Fahrradroutenplanung bekannt oder geben keine Antwort auf diese Frage (42,4 %).

#### **Ortskenntnis und Radfahrerfahrung**

Insgesamt kennt sich ein Fünftel der Befragten (20,9 %) gut bzw. sehr gut im Gebiet entlang der Routen bei den einzelnen Visualisierungstypen aus. Zu etwa gleich großem Anteil sind die Befragten wenig bzw. kaum (39,6 %) sowie nicht (39,5 %) mit den Gebieten vertraut. Nur eine Minderheit von zusammengekommen 9,6 % der Teilnehmenden ist mehrmals die Woche bis täglich mit dem Fahrrad in einem der Gebiete unterwegs. Der Großteil (81,4 %) fährt dort sehr selten oder nie mit dem Rad.

#### **3.2.2 Kriterien bei der Fahrradroutenwahl**

Im Rahmen der Umfrage werden die Teilnehmenden gebeten, jeweils das für sie wichtigste Kriterium bei der Fahrradroutenwahl - hinsichtlich der drei verschiedenen Aspekte *Wegstruktur*, *Wahrnehmung und Schönheit* und *Fahrkomfort* zu bestimmen (siehe Abbildungen 5, 6, 7). Im Zuge der Einschätzung unter dem Aspekt der Wegstruktur wird der *Typ der Wege* von 60,5 % der

Teilnehmenden als wichtigstes Kriterium bei der Wahl einer Fahrradroute bestimmt. Darauf folgt ein Anteil von 29,4 % Abstimmungen für die *Länge der Route* als wichtigstes Merkmal, während die *Breite der Wege* und *Anzahl der Abbiegungen* eine untergeordnete Rolle spielen. Für 8,5 % der Befragten ist keines der vier vorgegebenen Kriterien von Bedeutung. Ein Chi-Quadrat-Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den verschiedenen Kriterien hinsichtlich der Häufigkeit ihrer Wahl als wichtigstes Kriterium ( $\chi^2(4) = 283,13$ ,  $p < 0,001$ ,  $V = 0,56$ ). Paarweise Vergleiche zwischen den Kriterien zeigen außerdem jeweils signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen dem Kriterium *Länge der Route* und allen weiteren Kriterien, sowie dem Kriterium *Typ der Wege* und allen weiteren Kriterien.

Bezüglich der Wahrnehmung und Schönheit als Aspekt empfindet die Mehrheit (74,0 %) die Umgebung entlang einer Fahrradroute als wichtigstes Merkmal. Nur ein kleiner Anteil von 13,0 % schätzt die Geräuschkulisse als bedeutsamstes Kriterium ein, während ein noch geringerer Anteil an Teilnehmenden das Lufterlebnis oder eine Straßenbeleuchtung als wichtigstes Kriterium bewerten. Für 5 % der Befragten wird keines der vorgegebenen Kriterien als wichtig erachtet. Auch für diesen Aspekt zeigt sich ein statistisch signifikanter Unterschied (Chi-Quadrat-Test) zwischen den verschiedenen Kriterien,  $\chi^2(4) = 416,53$ ,  $p < 0,001$ ,  $V = 0,68$ . Paarweise Vergleiche zeigen jeweils signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) zwischen dem Kriterium *Umgebung* und allen weiteren Kriterien, sowie zwischen den Kriterien *Geräuschkulisse* und *Straßenbeleuchtung* ( $p < 0,01$ ).

Im Gegensatz zu den beiden zuvor untersuchten Aspekten sind die als am wichtigsten bewerteten Kriterien hinsichtlich des Fahrkomforts vielfältiger. Zu etwa einem Drittel wird die *Art des Untergrunds* (32,8 %), zu etwa einem Viertel die *Geländeneigung* (24,9 %) und zu etwas mehr als einem Fünftel (22,0 %) die *Anzahl an Fahrtunterbrechungen* als wichtigstes Kriterium bei

**Tabelle 1** Vergleich des Anteils korrekter Antworten bei den Visualisierungstypen aller Gruppen in Prozent

Visualisierungstyp	Art des Untergrunds	Untergrundrauigkeit	Geländeneigung	Fahrtunterbrechungen
Muster	81,8	<b>88,0</b>	52,8	69,4
Größe	72,7	64,0	58,3	72,2
Helligkeit	48,5	36,0	55,6	38,9
Signatur	<b>93,9</b>	<b>88,0</b>		<b>86,1</b>
Sättigung	78,8	80,0	47,2	
Farbe (RG)	<b>93,9</b>		<b>91,7</b>	
Transparenz	69,7	80,0		
Zahlenwert		64,0	86,1	
Farbe (bunt)	78,8			
Pfeil			66,7	
Geländeprofil			63,9	
Gekritzelt				80,6
Benennung				63,9
Symbol				52,8

Fett gedruckte Werte weisen für jedes der vier Merkmale auf den Visualisierungstyp mit dem höchsten Anteil korrekter Antworten hin

der Fahrradroutrouewahl erachtet. Die *Untergrundrauigkeit* folgt darauf mit 11,3 %. Obwohl auch hier ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Kriterien zu beobachten ist ( $\chi^2(4) = 43,19$ ,  $p < 0,001$ ,  $V = 0,22$ ), liefern die paarweisen Vergleiche weniger deutliche Unterschiede. Demnach bestehen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Wahl keines der Kriterien und den Kriterien *Art des Untergrunds* ( $p < 0,001$ ), *Geländeneigung* ( $p < 0,01$ ) und *Fahrtunterbrechungen* ( $p < 0,02$ ). Außerdem ist der Unterschied zwischen *Untergrundrauigkeit* und *Art des Untergrunds* ( $p < 0,001$ ), sowie zwischen *Untergrundrauigkeit* und *Geländeneigung* signifikant ( $p < 0,01$ ).

Die Umfrage zeigt, dass im Gegensatz zu den Aspekten *Wegstruktur* und *Wahrnehmung und Schönheit* der individuell empfundene *Fahrkomfort* von mehreren Faktoren abhängt, die alle eine relativ hohe Relevanz für die Radfahrenden aufweisen. Da den vier verschiedenen Kriterien jeweils unterschiedliche Daten zugrunde liegen, erfordert die Visualisierung der verschiedenen Kriterien auch jeweils die Verwendung einer individuell angemessenen Symbolisierung. Gleichzeitig existieren jedoch zur Symbolisierung der für den Fahrkomfort relevanten Kriterien bisher nur wenige Visualisierungsansätze. Aus diesem Grund konzentrieren wir uns im Rahmen dieser Arbeit exemplarisch auf die visuelle Kommunikation verschiedener radfahrrelevanter Kriterien des Fahrkomforts.

## 4 Ergebnisse & Diskussion

Die Visualisierungen werden anhand der Nutzerbefragung hinsichtlich ihrer Performanz ausgewertet und für die unterschiedlichen Merkmale die angemessenste Darstellung ermittelt. Auf eine Analyse der Antwortzeit sowie den Einfluss verschiedener Gerätetypen wird im Rahmen dieses Artikels verzichtet, da der Fokus dieser Arbeit vorwiegend auf der subjektiv empfundenen Angemessenheit der Darstellungen liegt. Objektive Effizienz der Visualisierungen könnte in einer hierauf aufbauenden Arbeit untersucht werden.

### 4.1 Performanzabschätzung

In der folgenden Performanzabschätzung wird die Effektivität (Richtigkeit), Attraktivität, Eignung und die Entbehrlichkeit einer Legende für die unterschiedlichen Visualisierungsvarianten und Merkmale betrachtet.

#### 4.1.1 Effektivität

Die Effektivität einer Visualisierung wird anhand des Anteils korrekter Antworten bezüglich der Bedeutung der verwendeten Symbolisierung evaluiert. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse hinsichtlich der vier untersuchten Merkmale für die verschiedenen Visualisierungsvarianten. Ein sehr hoher Anteil korrekter Antworten wird bei den Visualisierungsvarianten *Signatur* und *Farbe (RG)* erreicht. In beiden Fällen gilt dies für alle Merkmale, auf die die jeweilige Variante angewendet wird. Bezüglich der Merkmale *Art des Untergrunds* und *Untergrundrauigkeit* liefert außerdem die Variante *Muster* einen sehr hohen Anteil korrekter Antworten. Im Falle des Merkmals *Neigung* ist dies stattdessen für die Variante *Zahlenwert* zu beobachten. Bei dem Merkmal *Unterbrechungen* erreicht die Variante *Gekritzelt* einen hohen Anteil korrekter Antworten. Dem gegenüber steht die Visualisierungsvariante *Helligkeit*, die bei allen untersuchten Merkmalen einen relativ niedrigen Anteil korrekter Antworten erreicht und somit eine geringe Effektivität suggeriert.

Um einen statistischen Zusammenhang zwischen der verwendeten Visualisierungsvariante und dem Anteil korrekter Antworten zu überprüfen, wird für die vier verschiedenen Merkmale jeweils ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Wie im Folgenden beschrieben, zeigt dieser für alle Merkmale, dass zwischen den verschiedenen Visualisierungsvarianten ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Anzahl korrekter Antworten besteht. Bezüglich des Merkmals *Art des Untergrunds* ( $\chi^2(7) = 27,95$ ,  $p < 0,001$ ,  $V = 0,33$ ) liefern paarweise Vergleiche einige signifikante Unterschiede (siehe Appendix D16). Insbesondere die Variante *Helligkeit*

**Tabelle 2** Vergleich der Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (SD) hinsichtlich der Attraktivität der Visualisierungstypen

Visualisierungstyp	Art des Untergrunds		Untergrundrauigkeit		Geländeneigung		Fahrtunterbrechungen	
	AM	SD	AM	SD	AM	SD	AM	SD
Muster	3,39	1,09	3,00	1,08	2,92	1,00	2,33	0,86
Größe	2,48	0,91	2,20	0,91	2,28	0,91	2,22	0,99
Helligkeit	2,09	0,88	2,40	1,29	2,50	0,91	2,69	1,09
Signatur	2,52	1,20	2,92	1,44			2,08	1,05
Sättigung	2,85	1,00	<b>3,64</b>	0,91	2,81	1,00		
Farbe (RG)	<b>3,85</b>	1,15			<b>3,64</b>	0,99		
Transparenz	2,79	0,89	3,48	0,77				
Zahlenwert			2,24	1,39	3,03	1,21		
Farbe (bunt)	2,55	1,35						
Pfeil					2,08	0,97		
Geländeprofil					2,61	1,08		
Gekritzelt							1,94	0,79
Benennung							2,94	1,01
Symbol							<b>3,89</b>	0,95

Fett gedruckte Werte weisen für jedes der vier Merkmale auf den Visualisierungstyp mit der höchsten Bewertung hinsichtlich der Attraktivität hin

1: vollkommen unattraktiv, 2: eher unattraktiv, 3: unentschieden, 4: eher attraktiv, 5: sehr attraktiv

mit dem niedrigsten Prozentsatz korrekter Antworten unterscheidet sich signifikant von den meisten anderen Varianten. Ähnliche Ergebnisse sind hinsichtlich des Merkmals *Untergrundrauigkeit* zu beobachten ( $\chi^2(6) = 25,26, p < 0,001, V = 0,38$ ). Auch hier zeigen die paarweisen Vergleiche in **D17**, dass der Anteil korrekter Antworten bei der Variante *Helligkeit* signifikant niedriger ist als bei den anderen Visualisierungsvarianten. Hinsichtlich des Merkmals *Geländeneigung* ( $\chi^2(7) = 27,94, p < 0,001, V = 0,31$ ) zeigen die paarweisen Vergleiche in **D18** insbesondere im Vergleich mit anderen Varianten, dass für die Varianten *Farbe (RG)* und *Zahlenwert* jeweils signifikant höhere Anteile korrekter Antworten zu beobachten sind. Die Ergebnisse in **D19** für das Merkmal *Fahrtunterbrechungen* ( $\chi^2(6) = 25,46, p < 0,001, V = 0,32$ ) zeigen wiederum, dass vor allem der Anteil korrekter Antworten für die Variante *Helligkeit* signifikant niedriger ist, als bei den meisten der anderen Varianten.

#### 4.1.2 Attraktivität

Zur Analyse der Daten hinsichtlich der Attraktivität der Visualisierungsvarianten wird der Mittelwert basierend auf der verwendeten Likert-Skala berechnet. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Hinsichtlich der *Art des Untergrunds* wird deutlich, dass die Variante *Farbe (RG)* als am attraktivsten bewertet wird, gefolgt von der Variante *Muster*. *Farbe (RG)* erscheint weiterhin als am attraktivsten zur Darstellung der *Geländeneigung*. Zur Visualisierung der *Untergrundrauigkeit* werden die

Varianten *Sättigung* und *Transparenz* als am attraktivsten bewertet, die beide ein visuell ähnliches Ergebnis liefern. Zur Darstellung von *Fahrtunterbrechungen* erscheint nur die Visualisierungsvariante *Symbol* ausreichend attraktiv. Eine vergleichsweise geringe Attraktivität hinsichtlich aller überprüfter Merkmale weisen die Varianten *Größe* und *Helligkeit* auf. Außerdem werden die Anwendung von *Farbe (bunt)* zur Symbolisierung der *Art des Untergrunds*, die Verwendung von Pfeilen und Nutzung eines Geländeprofils zur Darstellung von *Geländeneigung*, sowie die Verwendung von *Gekritzelt* zur Symbolisierung von *Fahrtunterbrechungen* als vergleichsweise wenig attraktiv bewertet. Insgesamt betrachtet scheint keine der Darstellungsvarianten den Attraktivitätsanspruch der Nutzenden in sehr hohem Maße zu erfüllen, da keiner der Mittelwerte die Schwelle von "eher attraktiv" erreicht oder überschreitet.

Zur statistischen Analyse der Unterschiede hinsichtlich der Attraktivität der verschiedenen Visualisierungen wird ein Friedman-Test durchgeführt, mit anschließenden Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests), um zu überprüfen, ob sich die einzelnen Visualisierungsvarianten signifikant voneinander unterscheiden. Es zeigt sich für jedes der vier verschiedenen Merkmale, dass der Faktor Visualisierungsvariante einen signifikanten Einfluss auf die Einschätzung der Attraktivität hat. Hinsichtlich der *Art des Untergrunds* ( $\chi^2(7) = 53,28, p < 0,001, n = 33$ ) in **Appendix A1** wird insbesondere die Visualisierungsvariante *Farbe (RG)* als signifikant attraktiver als die meisten anderen Varianten bewertet. Bezüglich der

**Tabelle 3** Vergleich der Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (SD) hinsichtlich der Eignung der Visualisierungstypen

Visualisierungstyp	Art des Untergrunds		Untergrundrauigkeit		Geländeneigung		Fahrtunterbrechungen	
	AM	SD	AM	SD	AM	SD	AM	SD
Muster	3,39	1,06	3,12	1,13	2,72	0,85	2,56	1,00
Größe	2,64	0,96	2,64	1,00	1,94	0,96	2,11	0,82
Helligkeit	2,09	0,77	2,60	1,35	2,50	1,03	2,56	0,97
Signatur	3,09	1,23	3,24	1,39			2,75	1,05
Sättigung	2,76	0,79	3,60	0,87	2,67	0,99		
Farbe (RG)	<b>4,15</b>	1,03			3,64	1,10		
Transparenz	2,70	0,73	<b>3,72</b>	0,84				
Zahlenwert			2,32	1,38	<b>3,69</b>	1,09		
Farbe (bunt)	2,76	1,32						
Pfeil					2,31	1,14		
Geländeprofil					3,19	1,50		
Gekritzelt							1,89	0,95
Benennung							3,81	1,02
Symbol							<b>4,06</b>	0,86

Fett gedruckte Werte weisen für jedes der vier Merkmale auf den Visualisierungstyp mit der höchsten Bewertung hinsichtlich der Eignung hin

1: vollkommen ungeeignet, 2: eher ungeeignet, 3: unentschieden, 4: eher gut geeignet, 5: sehr gut geeignet

*Untergrundrauigkeit* ( $\chi^2(6) = 34,5, p < 0,001, n = 26$ ) ist in Appendix A3 zu beobachten, dass insbesondere die Variante *Sättigung* eine signifikant höhere Attraktivität aufweist als viele der anderen Varianten, während die Variante *Größe* eine signifikant niedrigere Attraktivität aufweist als die Varianten *Transparenz* und *Sättigung* (jeweils  $p < 0,01$ ). Hinsichtlich des Merkmals *Geländeneigung* ( $\chi^2(7) = 49,9, p < 0,001, n = 37$ ) ist in Appendix A5 vor allem zu beobachten, dass die Variante *Farbe (RG)* eine signifikant höhere Attraktivität aufweist als die meisten anderen Varianten. Bei dem Merkmal *Fahrtunterbrechungen* ( $\chi^2(6) = 73,33, p < 0,001, n = 37$ ) ist in Appendix A7 eine signifikant höhere Attraktivität, insbesondere bei der Visualisierungsvariante *Symbol*, zu beobachten.

### 4.1.3 Eignung

Die Ergebnisse zur Eignung der Darstellungsvarianten für die Visualisierung der verschiedenen Merkmale (siehe Tabelle 3) basieren ähnlich wie die Ergebnisse zur Attraktivität auf der verwendeten Likert-Skala. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Ergebnisse zur Eignung mit denen hinsichtlich der Attraktivität weitgehend übereinstimmen. Beispielsweise erscheinen die Visualisierungsvarianten *Farbe (RG)* und *Muster* ebenfalls als am geeignetsten. Gleiches gilt für das Merkmal *Untergrundrauigkeit*, bei dem die Varianten *Sättigung* und *Transparenz* sowohl vergleichsweise attraktiv als auch geeignet erscheinen. Für das Merkmal

*Geländeneigung* wird die Variante *Farbe (RG)* sowohl als vergleichsweise attraktiv als auch als geeignet bewertet, während die Variante *Zahlenwert* höhere Werte für Eignung aufweist als für Attraktivität. Zur Visualisierung von *Fahrtunterbrechungen* eignen sich den Ergebnissen zufolge die Varianten *Symbol* und *Benennung*, wobei

**Tabelle 4** Vergleich des Anteils der Zustimmung zur Entbehrlichkeit der Legende bei den Visualisierungstypen in Prozent

Visualisierungstyp	Art des Untergrunds	Untergrundrauigkeit	Geländeneigung	Fahrtunterbrechungen
Muster	60,6	36,0	36,1	13,9
Größe	<b>63,6</b>	44,0	44,4	19,4
Helligkeit	33,3	20,0	33,3	22,2
Signatur	48,5	<b>60,0</b>		69,4
Sättigung	45,5	52,0	33,3	
Farbe (RG)	57,6		55,6	
Transparenz	42,4	44,0		
Zahlenwert		16,0	<b>77,8</b>	
Farbe (bunt)	21,2			
Pfeil			36,1	
Geländeprofil			75,0	
Gekritzelt				25,0
Benennung				<b>91,7</b>
Symbol				69,4

Fett gedruckte Werte weisen für jedes der vier Merkmale auf den Visualisierungstyp mit der höchsten Zustimmung zur Entbehrlichkeit der Legende hin

letztere eine geringere Attraktivität aufweist. Ähnlich wie bei den Ergebnissen zur Attraktivität wird die Eignung der Visualisierungsvarianten *Helligkeit* und *Größe* (für alle Merkmale) sowie die Varianten *Gekritzelt*, *Pfeil* und *Farbe (bunt)* als vergleichsweise gering bewertet. Im Vergleich zur Attraktivität erreichen einige der Visualisierungsvarianten eine geringfügig positivere Einschätzung bei der Bewertung der Eignung.

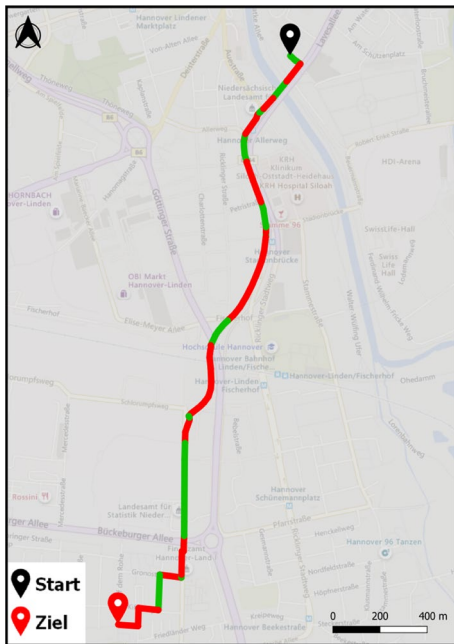
ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen statistischen Analyse der Attraktivität, wird auch für die Analyse der Eignung der Visualisierungsvarianten das Verfahren des Friedman-Tests angewendet. Auch hier kann für jedes der vier verschiedenen Merkmale ein signifikanter Einfluss des Faktors Visualisierungsvariante auf die Einschätzung der Eignung festgestellt werden. Die oben beschriebene Ähnlichkeit der Ergebnisse zu denen hinsichtlich der Attraktivität spiegeln sich auch in den Ergebnissen der statistischen Analyse wider. Hinsichtlich der Art des Untergrunds ( $\chi^2(7) = 74,67, p < 0,001, n = 33$ ) wird auch hier (siehe Appendix A2) die Visualisierungsvariante *Farbe (RG)* als signifikant geeigneter als die meisten anderen Varianten bewertet. Bezüglich der Untergrundrauigkeit ( $\chi^2(6) = 28,08, p < 0,001, n = 26$ ) ist in A4 hingegen nur für die Variante *Transparenz* eine signifikant höhere Eignung als bei den Varianten *Zahlenwert* ( $p < 0,02$ ) und *Größe* ( $p < 0,04$ ) zu beobachten. Hinsichtlich des Merkmals *Geländeneigung* ( $\chi^2(7) = 75,09, p < 0,001, n = 37$ ) zeigt sich auch hier, dass die Variante *Farbe (RG)* in A6 eine signifikant höhere Eignung aufweist als die meisten anderen Varianten, wobei auch für die Varianten *Größe* (geringe Eignung) und *Zahlenwert* (hohe Eignung) einige signifikante Unterschiede zu beobachten sind. Bei dem Merkmal *Fahrtunterbrechungen* ( $\chi^2(6) = 103,64, p < 0,001, n = 37$ ) ist in A8 eine signifikant höhere Eignung jedoch nicht nur bei der Visualisierungsvariante *Symbol* zu beobachten, sondern auch bei der Variante *Benennung*.

#### 4.1.4 Entbehrlichkeit der Legende

Zur Analyse der Ergebnisse für die Einschätzung der Entbehrlichkeit der Legende wird der Anteil der Zustimmung in Prozent berechnet (siehe Tabelle 4). Hier fällt auf, dass diese Einschätzung zwischen den verschiedenen Visualisierungsvarianten und Merkmalen stark variiert. Trotz einer vergleichsweise geringen Zustimmung erscheinen die Varianten *Größe*, *Muster* und *Farbe (RG)* als beste Kandidaten für den Verzicht auf eine Legende für das Merkmal *Art des Untergrunds*. Eine ähnlich geringe Zustimmung ist bei dem Merkmal *Untergrundrauigkeit* zu beobachten. Hier erreichen die

Varianten *Signatur* und *Sättigung* die höchste Bewertung. Einen deutlich höheren Grad der Zustimmung verzeichnen zwei Visualisierungsvarianten (*Zahlenwert* und *Geländeprofil*) hinsichtlich der *Entbehrlichkeit der Legende* bei dem Merkmal *Geländeneigung*, während die Variante *Benennung* zur Visualisierung des Merkmals *Fahrtunterbrechungen* für die meisten Nutzenden ohne Legende auskommt. Weiterhin erreichten für dieses Merkmal die Varianten *Signatur* und *Symbol* eine vergleichsweise hohe Zustimmung. Große Unterschiede sind darüber hinaus auch bei verschiedenen Visualisierungsvarianten zwischen den Merkmalen zu beobachten. Dies gilt beispielsweise für die Variante *Zahlenwert*, deren Bedeutung bei der Visualisierung der *Geländeneigung* viel eindeutiger erscheint als bei der Visualisierung der *Untergrundrauigkeit*. Große Unterschiede zwischen den Merkmalen bei der Zustimmung sind zudem hinsichtlich der Varianten *Muster* und *Größe* zu beobachten. Dies könnte auf den Unterschied zwischen der Symbolisierung von Linien- und Punktobjekten zurückzuführen sein, bei der sich die Symbolik visuell deutlich voneinander unterscheidet. Bei beiden Visualisierungsvarianten ist die Zustimmung für das auf Punktobjekten basierende Merkmal *Fahrtunterbrechungen* deutlich geringer als bei den anderen Merkmalen. Ähnlich wie bei der zuvor beschriebenen Analyse zur Eignung und Attraktivität erreichen die Varianten *Helligkeit*, *Pfeil* und *Gekritzelt* auch hier eine eher geringe Zustimmung. Dies deutet darauf hin, dass eine Nutzung dieser Visualisierungsvarianten zur visuellen Kommunikation der untersuchten Fahrradrouten-Merkmale, nicht zu empfehlen ist.

Eine tiefer gehende statistische Analyse mittels Chi-Quadrat-Tests unterstützt diese Beobachtungen. Für jedes der vier untersuchten Fahrradrouten-Merkmale zeigen die Tests, dass sich die Zustimmung zur Entbehrlichkeit einer Legende signifikant zwischen den verschiedenen Visualisierungsvarianten unterscheidet. Hinsichtlich der *Art des Untergrunds* ( $\chi^2(7) = 19,23, p < 0,01, V = 0,27$ ) ergeben paarweise Vergleiche (siehe Appendix B9) signifikante Unterschiede zwischen den Varianten *Farbe (bunt)* und *Größe* ( $p < 0,01$ ), sowie *Farbe (bunt)* und *Muster* ( $p < 0,03$ ), wobei *Farbe (bunt)* eine signifikant geringere Zustimmung zur Entbehrlichkeit der Legende aufweist. Bei dem Merkmal *Untergrundrauigkeit* ( $\chi^2(6) = 23,04, p < 0,001, V = 0,36$ ) erreicht in B10 ausschließlich der Unterschied zwischen *Signatur* (hohe Zustimmung) und *Zahlenwert* (niedrige Zustimmung) statistische Signifikanz ( $p < 0,03$ ). Hinsichtlich des Merkmals *Geländeneigung* ( $\chi^2(7) = 34,73, p < 0,001, V = 0,34$ ) zeigt sich in B11, dass die beiden Merkmale *Zahlenwert* und *Geländeprofil* eine signifikant höhere Zustimmung zur Entbehrlichkeit der Legende aufweisen als mehrere der anderen Varianten. Der Chi-Quadrat-Test zur Überprüfung des



**Abb. 8** Darstellungsvariante *Farbe (RG)* für das Merkmal *Geländeneigung*

Merkmals *Fahrtunterbrechungen* verdeutlicht die großen Unterschiede zwischen den Visualisierungsvarianten bezüglich der Zustimmung in **B12** zur *Entbehrlichkeit der Legende* ( $\chi^2(6) = 83,53, p < 0,001, V = 0,57$ ). Paarweise Vergleiche zeigen dementsprechend in vielen Fällen signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten.

## 4.2 Angemessenste Darstellungen

Der vorliegende Artikel untersucht die Anwendbarkeit verschiedener Darstellungsvarianten für vier verschiedene Routenmerkmale von Fahrradrouten. Basierend auf den zuvor beschriebenen Ergebnissen der Nutzerbefragung zu den Aspekten *Effektivität*, *Attraktivität*, *Eignung* und *Entbehrlichkeit der Legende* diskutieren wir für jedes der vier Merkmale die zur visuellen Kommunikation von Fahrradrouten insgesamt als am angemessensten befundenen Darstellungsvarianten. Hierbei ist zu beachten, dass die Gültigkeit dieser Einschätzung davon anhängen kann, wie die Darstellung graphischer Unterschiede für die einzelnen visuellen Variablen im Rahmen dieser Arbeit umgesetzt wird. Eine davon abweichende Umsetzung kann demnach auch zu abweichenden Ergebnissen führen. Für die Visualisierung der meisten Fahrradroutenmerkmale eignet sich eine Darstellungsart, die die Ausprägungen des Merkmals

kategorisiert übermittelt. Diese Kategorien werden im Idealfall durch Symbole, eine Signatur oder mittels Farbe repräsentiert.

Anhand der Ergebnisse der vorangegangenen statistischen Auswertungen erscheinen die Darstellungsvarianten *Farbe (RG)* (vgl. Abbildung 1 - Farbe (RG)) und *Muster* (vgl. Abbildung 1 - Muster) als am angemessensten für die visuelle Kommunikation der **Art des Untergrunds** einer Route. Beide Darstellungsvarianten weisen eine hohe Effektivität auf, werden als attraktiv empfunden und sind ohne Beschreibung der verwendeten Symbolik verständlich.

Die Umfrage hat gezeigt, dass die angemessensten Darstellungsvarianten für die Kommunikation der **Untergrundrauigkeit** einer Fahrradroute die Varianten *Transparenz* (vgl. Abbildung 1 - Transparenz), *Sättigung* (vgl. Abbildung 1 - Sättigung) und *Signatur* (vgl. Abbildung 1 - Signatur) sind, wobei alle drei Varianten die zugrunde liegenden kontinuierlichen Rauigkeitswerte kategorisiert darstellen. Speziell die verwendete Stern-Signatur schafft aus den abstrakten Werten eine nutzerfreundliche Kartendarstellung. Sämtliche Varianten weisen eine relativ hohe Effektivität und Attraktivität auf.

Die als am angemessensten befundenen Darstellungsformen zur Visualisierung der **Geländeneigung** sind die Variante *Zahlenwert* (vgl. Abbildung 1 - Zahlenwert) sowie die Untergliederung der Route in Steigung und Neigung mittels roter und grüner Farbe (*Farbe (RG)*), vgl. Abbildung 8). Beide Varianten werden als sehr effektiv und attraktiv befunden. Darüber hinaus erscheint eine Beschreibung dieser Symbolik als nicht erforderlich. Demgegenüber wird bei der Visualisierungsvariante *Farbe (RG)* eine hohe Effektivität erreicht, aber eine Legende erscheint bei dieser Variante nicht als entbehrlich. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Studie in Brügger et al. (2017) wird die hier verwendete Pfeil-Symbolik als nicht angemessen zur visuellen Kommunikation der Geländeneigung befunden. Allerdings ist anzumerken, dass die Pfeile in der vorliegenden Studie keine farblichen Unterschiede aufweisen.

Die als am angemessensten befundenen Kommunikationsmöglichkeiten stellen bei dem Merkmal **Fahrtunterbrechungen** die Varianten *Symbol* (vgl. Abbildung 1 - Symbol), *Benennung* (vgl. Abbildung 1 - Benennung) und *Signatur* (vgl. Abbildung 1 - Signatur) dar, wobei die ersten beiden Varianten nur eine relativ geringe Effektivität aufweisen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass der in der Befragung verwendete Begriff „Drängelgitter“ nicht allen Teilnehmenden bekannt ist und das entsprechende Symbol nicht korrekt verstanden wird. Ein weiterer möglicher Grund ist, dass die subjektive Einschätzung einer spezifischen Fahrtunterbrechung als Störfaktor individuell verschieden

sein kann und diese somit von der hier umgesetzten Kategorisierung abweicht. Dennoch erscheinen die beiden zuerst genannten Varianten als relativ attraktiv und geeignet, um Fahrtunterbrechungen darzustellen. Bei allen drei Visualisierungsvarianten wird zudem eine Legende als nicht notwendig erachtet.

## 5 Fazit & Ausblick

Dieser Artikel beschreibt die Ergebnisse einer Nutzerbefragung zur Anwendbarkeit verschiedener Darstellungsvarianten zur visuellen Kommunikation von Fahrradrouten. Die Ergebnisse zeigen, dass viele der vorgeschlagenen Visualisierungsvarianten angemessen für die visuelle Kommunikation von Fahrradrouten sind.

Hinsichtlich der vier getesteten Fahrradrouten-Merkmale hat sich jedoch gezeigt, dass die angemessenste Darstellung stark von der zu kommunizierenden Information abhängt. Damit wird deutlich, dass für eine erfolgreiche visuelle Kommunikation von Fahrradrouten, anstatt einer gewöhnlichen, einfachen Hervorhebung der empfohlenen Route, verschiedene Merkmale berücksichtigt werden sollten, die jeweils durch eine für das Merkmal als angemessen befundene Symbolisierung dargestellt werden.

Die statistische Auswertung zeigt jedoch, dass für viele der getesteten Varianten ein relativ geringes Maß an Effektivität oder Attraktivität erreicht wird. Insbesondere ist zu beobachten, dass bezüglich der Attraktivität für keine der getesteten Varianten der berechnete Mittelwert die Schwelle von „4“ (eher attraktiv) erreicht. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Teilnehmenden möglicherweise eher wenig mit den getesteten Visualisierungsvarianten von Fahrradrouten vertraut sind und diese dementsprechend als wenig attraktiv erscheinen. Weiterhin fällt auf, dass sich die getesteten Variablen für die Merkmale *Art des Untergrunds* und *Untergrundrauigkeit* in vielen Aspekten als nicht angemessen erweisen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass zur Darstellung dieser Merkmale allgemein nur wenige Arten der Visualisierung geläufig sind.

Auf Basis der Ergebnisse wird daher angestrebt, die Anwendbarkeit weiterer Visualisierungsvarianten zu testen, die sich möglicherweise als angemessener zur visuellen Kommunikation der verschiedenen Merkmale erweisen. In dieser

Studie werden diese Merkmale isoliert vom Gesamtkontext (wie Hintergrundkarte oder Benutzeroberfläche) betrachtet, auch wenn dieser für die schlussendliche Akzeptanz der Nutzenden ausschlaggebend sein kann. Zudem muss berücksichtigt werden, dass es am Bezug der Nutzenden zur Route mangeln kann, obwohl diese auf realen Daten basiert. Durch die bloße Darstellung der Route auf der Karte, kann diese jedoch als zu abstrakt wahrgenommen werden. Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass eine moderate Teilnehmendenzahl erreicht wird, die allerdings, auf die Merkmalsgruppen aufgeteilt, vergleichsweise wenige Teilnehmenden generiert.

Die dargestellte Methodik zur visuellen Kommunikation von Routen offenbart interessante Kartendarstellungen und bietet Potenzial für weitere Forschungsarbeiten. So werden im Rahmen dieser Arbeit die Schritte zur Erstellung der Visualisierungsvarianten größtenteils manuell in einer GIS-Software durchgeführt. Für diese Studie ist dieses Vorgehen akzeptabel, für eine spätere Integration in Navigationsanwendungen jedoch nicht praktikabel. Ein nächster wichtiger Schritt umfasst daher eine automatisierte Umsetzung der Methodik, sodass Datenquellen eingebunden werden können, eine Verarbeitung bzw. Verknüpfung automatisch erfolgt und die für am angemessensten befundenen Kartenvarianten darauf angewendet werden. Darüber hinaus werden in dieser Studie hauptsächlich die geometrischen Primitiven der Linien zur visuellen Kommunikation genutzt. Die Verwendung von Polygonen zur Repräsentation weiterer Merkmale, wie z.B. der Umgebung, der Sichtbarkeit Radfahrender, der Beleuchtung der Straßen oder des Lufterlebnisses, könnte die Kommunikation sinnvoll ergänzen und damit verbessern.

Insgesamt betrachtet liefert die Auswertung der Nutzerbefragung hinsichtlich der Angemessenheit verschiedener Visualisierungsvarianten zur Kommunikation der vier verschiedenen Fahrradrouten-Merkmale wichtige Erkenntnisse, die Entwicklern von Fahrrad-Navigationssystemen und Routenplanern bei Designentscheidungen unterstützen.

## Appendix A Paarweise Vergleiche mit Friedman-Test

Siehe Tabelle [A1](#), [A2](#), [A3](#), [A4](#), [A5](#), [A6](#), [A7](#), [A8](#).



**Tab. A1** Paarweiser Vergleich der *Attraktivität* mit Friedman-Test für die *Art des Untergrunds*

	Größe	Helligkeit	Muster	Farbe (RG)	Transparenz	Sättigung	Signatur	Farbe (bunt)
Größe	-	1	0,03*	< 0,01**	1	1	1	1
Helligkeit	0,77	-	< 0,001***	< 0,001***	0,51	0,25	1	1
Muster	1,97	2,74	-	1	0,81	1	0,08	0,11
Farbe (RG)	2,53	3,3	0,56	-	0,05	0,12	< 0,01**	< 0,01**
Transparenz	0,65	1,42	1,32	1,88	-	1	1	1
Sättigung	0,8	1,58	1,17	1,73	0,15	-	1	1
Signatur	0,17	0,94	1,8	2,36	0,49	0,64	-	1
Farbe (bunt)	-0,23	-1	-1,74	-2,3	-0,42	-0,58	-0,06	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. A2** Paarweiser Vergleich der *Eignung* mit Friedman-Test für die *Art des Untergrunds*

	Größe	Helligkeit	Muster	Farbe (RG)	Transparenz	Sättigung	Signatur	Farbe (bunt)
Größe	-	0,67	0,25	< 0,001***	1	1	1	1
Helligkeit	1,36	-	< 0,001***	< 0,001***	0,92	0,55	0,02*	0,39
Muster	1,58	2,94	-	0,76	0,17	0,31	1	0,44
Farbe (RG)	2,91	4,27	1,33	-	< 0,001***	< 0,001***	< 0,01**	< 0,001***
Transparenz	0,08	1,29	1,65	2,99	-	1	1	1
Sättigung	0,04	1,41	1,53	2,86	0,12	-	1	1
Signatur	0,67	2,03	0,91	2,24	0,74	0,62	-	1
Farbe (bunt)	-0,12	-1,49	-1,46	-2,79	-0,2	-0,08	-0,55	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. A3** Paarweiser Vergleich der *Attraktivität* mit Friedman-Test für die *Untergrundrauigkeit*

	Zahlenwert	Größe	Helligkeit	Muster	Transparenz	Sättigung	Signatur
Zahlenwert	-	1	1	1	0,06	0,02*	1
Größe	-0,4	-	1	0,61	< 0,01**	< 0,01**	0,28
Helligkeit	0	0,4	-	1	0,06	0,02*	1
Muster	0,9	1,31	0,9	-	1	1	1
Transparenz	1,79	2,19	1,79	0,89	-	1	1
Sättigung	2,02	2,42	2,02	1,12	0,23	-	1
Signatur	1,08	1,48	1,08	0,17	0,71	0,94	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. A4** Paarweiser Vergleich der *Eignung* mit Friedman-Test für die *Untergrundrauigkeit*

	Zahlenwert	Größe	Helligkeit	Muster	Transparenz	Sättigung	Signatur
Zahlenwert	-	1	1	1	0,02*	0,08	0,1
Größe	-0,14	-	1	1	0,04*	0,16	0,2
Helligkeit	-0,17	0,04	-	1	0,06	0,2	0,24
Muster	-1,04	0,9	0,87	-	1	1	1
Transparenz	-1,96	1,83	1,79	0,92	-	1	1
Sättigung	-1,73	1,6	1,56	0,69	0,23	-	1
Signatur	-1,69	1,56	1,52	0,65	0,27	0,04	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. A5** Paarweiser Vergleich der *Attraktivität* mit Friedman-Test für die *Geländeneigung*

	Pfeil	Farbe (RG)	Zahlenwert	Geländeprofil	Größe	Helligkeit	Muster	Sättigung
Pfeil	-	< 0,001***	0,04*	1	1	1	0,29	0,72
Farbe (RG)	3,07	-	0,68	0,02*	< 0,001***	< 0,01**	0,13	0,04*
Zahlenwert	1,78	-1,28	-	1	0,33	1	1	1
Geländeprofil	1,12	1,95	-0,66	-	1	1	1	1
Größe	0,35	-2,72	-1,43	-0,77	-	1	1	1
Helligkeit	0,78	-2,28	-1	-0,34	0,43	-	1	1
Muster	1,46	1,61	0,32	-0,34	1,11	0,68	-	1
Sättigung	1,27	1,8	0,51	-0,15	0,92	0,49	0,19	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ **Tab. A6** Paarweiser Vergleich der *Eignung* mit Friedman-Test für die *Geländeneigung*

	Pfeil	Farbe (RG)	Zahlenwert	Geländeprofil	Größe	Helligkeit	Muster	Sättigung
Pfeil	-	< 0,001***	< 0,001***	0,07	1	1	1	1
Farbe (RG)	2,6	-	1	1	< 0,001***	< 0,01**	0,04*	0,01*
Zahlenwert	2,51	-0,08	-	1	< 0,001***	< 0,01**	0,06	1
Geländeprofil	1,73	0,87	0,78	-	< 0,001***	0,41	1	1
Größe	0,72	-3,31	-3,23	-2,45	-	1	0,27	0,68
Helligkeit	0,34	-2,26	-2,18	-1,39	1,05	-	1	1
Muster	0,76	1,84	1,76	-0,97	1,47	0,42	-	1
Sättigung	0,57	2,03	1,95	1,16	1,28	0,23	0,19	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ **Tab. A7** Paarweiser Vergleich der *Attraktivität* mit Friedman-Test für die *Fahrtunterbrechung*

	Gekritzelt	Muster	Symbol	Benennung	Größe	Helligkeit	Signatur
Gekritzelt	-	1	< 0,001***	< 0,01**	1	0,3	1
Muster	0,73	-	< 0,001***	0,33	1	1	1
Symbol	3,08	2,35	-	0,5	< 0,001***	< 0,01**	< 0,001***
Benennung	1,95	1,22	1,14	-	0,04*	1	< 0,01**
Größe	0,38	0,35	2,7	1,57	-	1	1
Helligkeit	1,23	0,5	1,85	0,72	0,85	-	0,33
Signatur	0,01	0,72	3,07	1,93	0,37	1,22	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ **Tab. A8** Paarweiser Vergleich der *Eignung* mit Friedman-Test für die *Fahrtunterbrechung*

	Gekritzelt	Muster	Symbol	Benennung	Größe	Helligkeit	Signatur
Gekritzelt	-	0,5	< 0,001***	< 0,001***	1	0,5	0,38
Muster	1,14	-	< 0,001***	< 0,01**	1	1	1
Symbol	3,61	2,47	-	1	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***
Benennung	2,99	1,85	0,62	-	< 0,001***	< 0,01**	< 0,01**
Größe	0,26	0,88	3,35	2,73	-	1	1
Helligkeit	1,14	0	2,47	1,85	0,88	-	1
Signatur	1,19	0,05	2,42	1,8	0,93	0,05	-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

## Appendix B Post-hoc-Tests zur Notwendigkeit der Legende

Siehe Tabelle B9, B10, B11, B12.

**Tab. B9** Post-hoc-Test zur Notwendigkeit der Legende für die Art des Untergrunds

	Größe	Helligkeit	Muster	Farbe (RG)	Transparenz	Sättigung	Signatur	Farbe (bunt)
Größe	-	0,34	1	1	1	1	1	0,01*
Helligkeit		-	0,67	1	1	1	1	1
Muster			-	1	1	1	1	0,03*
Farbe (RG)				-	1	1	1	0,08
Transparenz					-	1	1	1
Sättigung						-	1	1
Signatur							-	0,67
Farbe (bunt)								-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. B10** Post-hoc-Test zur Notwendigkeit der Legende für die Untergrundrauigkeit

	Zahlenwert	Größe	Helligkeit	Muster	Transparenz	Sättigung	Signatur
Zahlenwert	-	0,86	1	1	0,86	0,19	0,03*
Größe		-	1	1	1	1	1
Helligkeit			-	1	1	0,41	0,08
Muster				-	1	1	1
Transparenz					-	1	1
Sättigung						-	1
Signatur							-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. B11** Post-hoc-Test zur Notwendigkeit der Legende für die Geländeneigung

	Pfeil	Farbe (RG)	Zahlenwert	Geländeprofil	Größe	Helligkeit	Muster	Sättigung
Pfeil	-	1	< 0,01**	< 0,01**	1	1	1	1
Farbe (RG)		-	1	1	1	1	1	1
Zahlenwert			-	1	0,1	< 0,01**	0,02*	< 0,01**
Geländeprofil				-	0,1	< 0,01**	0,02*	< 0,01**
Größe					-	1	1	1
Helligkeit						-	1	1
Muster							-	1
Sättigung								-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. B12** Post-hoc-Test zur Notwendigkeit der Legende für Fahrtunterbrechungen

	Gekritzelt	Muster	Symbol	Benennung	Größe	Helligkeit	Signatur
Gekritzelt	-	1	< 0,001***	< 0,001***	1	1	< 0,001***
Muster		-	< 0,001***	< 0,001***	1	1	< 0,001***
Symbol			-	0,55	< 0,001***	< 0,001***	1
Benennung				-	< 0,001***	< 0,001***	0,26
Größe					-	1	< 0,001***
Helligkeit						-	< 0,001***
Signatur							-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

## Appendix C Post-hoc-Tests zu den Kriterien

Siehe Tabelle C13, C14, C15.

**Tab. C13** Post-hoc-Test der Kriterien für *Wegstruktur*

	Länge	Typ	Breite	Abbiegungen	Keines
Länge	-	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***
Typ		-	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***
Breite			-	1	0,18
Abbiegungen				-	0,39
Keines					-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. C14** Post-hoc-Test der Kriterien für *Fahrtkomfort*

	Art des Untergrunds	Untergrundrauigkeit	Geländeneigung	Fahrtunterbrechungen	Keines
Art des Untergrunds	-	< 0,001***	0,6	0,07	< 0,001***
Untergrundrauigkeit		-	0,01*	0,16	1
Geländeneigung			-	1	< 0,01**
Fahrtunterbrechungen				-	0,02*
Keines					-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. C15** Post-hoc-Test der Kriterien für *Wahrnehmung*

	Umgebung	Geräuschkulisse	Lufterlebnis	Straßenbeleuchtung	Keines
Umgebung	-	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***
Geräuschkulisse		-	0,2	< 0,01**	0,07
Lufterlebnis			-	1	1
Straßenbeleuchtung				-	1
Keines					-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

## Appendix D Post-hoc-Tests zur Effektivität (Anteil korrekter Antworten)

Siehe Tabelle D16, D17, D18, D19.

**Tab. D16** Post-hoc-Test zur *Effektivität* (Anteil korrekter Antworten) für die *Art des Untergrunds*

	Größe	Helligkeit	Muster	Farbe (RG)	Transparenz	Sättigung	Signatur	Farbe (bunt)
Größe	-	0,038*	0,558	0,044*	1	0,775	0,044*	0,775
Helligkeit		-	0,009**	< 0,001***	0,132	0,020*	< 0,001***	0,020*
Muster			-	0,258	0,389	1	0,258	1
Farbe (RG)				-	0,023*	0,149	1	0,149
Transparenz					-	0,574	0,023*	0,574
Sättigung						-	0,149	1
Signatur							-	0,149
Farbe (bunt)								-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$

**Tab. D17** Post-hoc-Test zur *Effektivität* (Anteil korrekter Antworten) für die *Untergrundrautigkeit*

	Zahlenwert	Größe	Helligkeit	Muster	Transparenz	Sättigung	Signatur
Zahlenwert	-	1	0,089	0,095	0,345	0,345	0,095
Größe		-	0,089	0,095	0,345	0,345	0,095
Helligkeit			-	< 0,001***	0,004**	0,004**	< 0,001***
Muster				-	0,702	0,702	1
Transparenz					-	1	0,702
Sättigung						-	0,702
Signatur							-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ **Tab. D18** Post-hoc-Test zur *Effektivität* (Anteil korrekter Antworten) für die *Geländeneigung*

	Pfeil	Farbe (RG)	Zahlenwert	Geländeprofil	Größe	Helligkeit	Muster	Sättigung
Pfeil	-	0,018*	0,094	1	0,627	0,469	0,337	0,153
Farbe (RG)		-	0,710	0,009**	0,002**	< 0,001***	< 0,001***	< 0,001***
Zahlenwert			-	0,055	0,017*	0,009**	0,004**	< 0,001***
Geländeprofil				-	0,809	0,631	0,474	0,236
Größe					-	1	0,813	0,479
Helligkeit						-	1	0,638
Muster							-	0,814
Sättigung								-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ **Tab. D19** Post-hoc-Test zur *Effektivität* (Anteil korrekter Antworten) für die *Fahrtunterbrechungen*

	Gekritzelt	Muster	Symbol	Benennung	Größe	Helligkeit	Signatur
Gekritzelt	-	0,415	0,023*	0,188	0,580	< 0,001***	0,753
Muster		-	0,227	0,803	1	0,017*	0,155
Symbol			-	0,474	0,144	0,344	0,004**
Benennung				-	0,614	0,059	0,055
Größe					-	0,009**	0,245
Helligkeit						-	< 0,001***
Signatur							-

\* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ **Funding** Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

**Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

## References

- Aultman-Hall L, Hall FL, Baetz BB (1997) Analysis of bicycle commuter routes using geographic information systems: implications for bicycle planning. *Transp Res Rec* 1578(1):102–110. <https://doi.org/10.3141/1578-13>
- Avelar S, Hurni L (2006) On the design of schematic transport maps. *Cartographica Int J Geograph Inf Geovis* 41(3):217–228. <https://doi.org/10.3138/A477-3202-7876-N514>
- Bertin J (1983) *Semiology of graphics*. University of Wisconsin press
- Bovy PHL, Bradley MA (1985) Route choice analyzed with stated-preference approaches. *Transp Res Rec* 1037:10
- Broach J, Dill J, Gliebe J (2012) Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transp Res Part A Policy Pract* 46(10):1730–1740. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.07.005>
- Brügger A, Fabrikant SI, Çöltekin A (2017) An empirical evaluation of three elevation change symbolization methods along routes

- in bicycle maps. *Cartogr Geogr Inf Sci* 44(5):436–451. <https://doi.org/10.1080/15230406.2016.1193766>
- Carroll F, Webb M, Cropper S (2020) Investigating aesthetics to afford more ‘felt’ knowledge and ‘meaningful’ navigation interface designs. In: 2020 24th International Conference Information Visualisation (IV), pp 214–219. <https://doi.org/10.1109/IV51561.2020.00043>
- Dane G, Feng T, Luub F et al (2019) Route choice decisions of E-bike users: analysis of GPS tracking data in the Netherlands. In: Kyriakidis P, Hadjimitsis D, Skarlatos D et al (eds) *Geospatial technologies for local and regional development. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer International Publishing, Cham, pp 109–124. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14745-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14745-7_7)
- Fuest S, Grüner S, Vollrath M et al (2021) Evaluating the effectiveness of different cartographic design variants for influencing route choice. *Cartogr Geogr Inf Sci* 48(2):169–185. <https://doi.org/10.1080/15230406.2020.1855251>
- Goldsberry K (2005) Limitations and potentials of real-time traffic visualization for wayfinding. In: *Proceedings of the 22nd ICA/ACI International Cartographic Conference*
- Hölzel C, Höchtl F, Senner V (2012) Cycling comfort on different road surfaces. *Proc Eng* 34:479–484. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.04.082>
- Huber S, Lißner S, Lindemann P, et al (2021) Modelling bicycle route choice in German cities using open data, MNL and the bikeSim web-app. In: 2021 7th International Conference on models and technologies for intelligent transportation systems (MT-ITS), pp 1–6. <https://doi.org/10.1109/MT-ITS49943.2021.9529273>
- Hunt JD, Abraham JE (2007) Influences on bicycle use. *Transportation* 34(4):453–470. <https://doi.org/10.1007/s11116-006-9109-1>
- Kelly M (2021) Mapping bodies, designing feminist icons. *GeoHumanities* 7(2):529–557. <https://doi.org/10.1080/2373566X.2021.1883455>
- Köbben B, Yaman M (1995) Evaluating dynamic visual variables. In: *Proceedings of the Seminar on teaching animated cartography*, Madrid, Spain, pp 45–51
- Lai PC, Yeh AGO (2004) Assessing the effectiveness of dynamic symbols in cartographic communication. *Cartogr J* 41(3):229–244. <https://doi.org/10.1179/000870404X13300>
- Landeshauptstadt Hannover, Bereich Geoinformation (2021) Digitales Geländemodell (DGM1). Hannover.de <https://www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Verwaltungen-Kommunen/Die-Verwaltung-der-Landeshauptstadt-Hannover/Dezernat-und-Fachbereiche-der-LHH/Stadtentwicklung-und-Bauen/Fachbereich-Planen-und-Stadtentwicklung/Geoinformation/Open-GeoData/3D-Stadtmodell-und-Gel%C3%A4ndemodell/Digitales-Gel%C3%A4ndemodell-DGM1>. Accessed 14 Mar 2022
- Lawson AR, Pakrashi V, Ghosh B et al (2013) Perception of safety of cyclists in Dublin City. *Accid Anal Prev* 50:499–511. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.05.029>
- MacEachren AM (1982) The role of complexity and symbolization method in thematic map effectiveness. *Ann Assoc Am Geogr* 72(4):495–513. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1982.tb01841.x>
- MacEachren AM, Robinson A, Hopper S et al (2005) Visualizing geospatial information uncertainty: what we know and what we need to know. *Cartogr Geogr Inf Sci* 32(3):139–160. <https://doi.org/10.1559/1523040054738936>
- McCarthy OT, Caulfield B, Deenihan G (2016) Evaluating the quality of inter-urban cycleways. *Case Stud Transp Policy* 4(2):96–103. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2015.11.004>
- Nobis C (2019) *Mobilität in Deutschland 2017 - Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr*. Tech. rep., Studie von infras, DLR, IVT und infras 360 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, <http://www.mobilitaet-in-deutschland.de>. Accessed 14 Mar 2022
- OpenStreetMap contributors (2021) Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>. <https://www.openstreetmap.org>. Accessed 19 Oct 2021
- Peirce CS (1991) *Peirce on signs: writings on semiotic*. UNC Press Books
- Roth RE (2017) Visual variables. *International encyclopedia of geography: people, the earth, environment and technology*. Wiley, Oxford, UK, pp 1–11. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0761>
- Stinson MA, Bhat CR (2003) Commuter bicyclist route choice: Analysis using a stated preference survey. *Transp Res Rec J Transp Res Board*. <https://doi.org/10.3141/1828-13>
- Thompson MA, Lindsay JM, Leonard GS (2017) More than meets the eye: volcanic hazard map design and visual communication. In: *Observing the volcano world*. Springer, pp 621–640. [https://doi.org/10.1007/11157\\_2016\\_47](https://doi.org/10.1007/11157_2016_47)
- Umweltbundesamt (2021) *Radverkehr - Vorteile des Fahrradfahrens*. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachhaltige-mobilitaet/radverkehr>. Accessed 19 Oct 2021
- Wage O, Sester M (2021) Joint estimation of road roughness from crowd-sourced bicycle acceleration measurements. *ISPRS Ann Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2021-89-2021>
- Wage O, Feuerhake U, Koetsier C et al (2020) Ride vibrations: towards comfort-based bicycle navigation. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci*. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-367-2020>