

## Mehr Lücken als das Radverkehrsnetz? Forschung zu intuitiv verständlicher Radinfrastruktur

David Friel

*Siehe AutorInnenangaben*

### Abstract

Obwohl in Regelwerken für Radverkehrsinfrastruktur darauf hingewiesen wird, dass die Gestaltung intuitiv verständlich sein soll, fehlen Hinweise wie eine solche Gestaltung aussieht. Um den aktuellen Forschungsstand zu präsentieren und Forschungslücken zu identifizieren, wurde eine systematische Literaturanalyse durchgeführt. Drei zentrale Forschungslücken wurden gefunden: nicht untersuchte Infrastrukturarten, allgemeine Prinzipien intuitiv verständlicher Gestaltung von Infrastruktur und der Einfluss von Verständlichkeit auf das Verhalten.

#### Schlagwörter / Keywords:

Intuitive Gestaltung, Verständlichkeit, Radverkehr, Infrastruktur, systematische Literaturanalyse

### 1. Einleitung

Das Fahrrad als Verkehrsmittel bietet zahlreiche Vorteile: Es ist eines der umweltfreundlichsten Verkehrsmittel, gesundheitsfördernd und vergleichsweise preisgünstig; in urbanen Gebieten ist es bei Strecken unter 5,5 km das schnellste Verkehrsmittel (Wachotsch et al., 2014). Trotzdem stagniert der Radverkehrsanteil in Deutschland auf einem relativ niedrigen Niveau von rund elf % (Nobis et al., 2017).

Ein oft genannter und in Teilen untersuchter Grund dafür ist der Mangel an subjektiver Sicherheit beim Radfahren, die größtenteils durch die vorhandene Infrastruktur beeinflusst wird (siehe z. B. Abadi & Hurwitz, 2018; Ferreira et al., 2022; Stülpnagel & Binig, 2022). Neben der subjektiven Sicherheit ist allerdings auch die Verständlichkeit ein zentrales Beurteilungskriterium für Radinfrastruktur und kann sowohl das Sicherheitsempfinden als auch den empfundenen Komfort beeinflussen (Friel & Wachholz, 2024). Dadurch dürfte die Verständlichkeit von Radverkehrsinfrastruktur großen Einfluss auf die Nutzung des Fahrrads als Verkehrsmittel haben.

Daneben ist bekannt, dass es zu Konflikten und schlimmstenfalls Unfällen führen kann, wenn die Infrastruktur nicht oder nur schwer verständlich ist (vgl. Dumbaugh et al., 2020). Das auf dieser Erkenntnis aufbauende Konzept der *Self-Explaining Roads* (SER) (Theeuwes & Godthelp, 1995) hat sich in den letzten

Jahrzehnten von den Niederlanden ausgehend verbreitet und wird in verschiedenen Ländern angewandt. So werden beispielsweise Landstraßen in Deutschland so gestaltet, dass sie sich leicht von Autobahnen und kommunalen Straßen unterscheiden lassen und somit eigene Verhaltensregeln vermitteln (Becher et al., 2006). Auch in den USA (Mackie et al., 2013), Tschechien (Ambros et al., 2017) oder China (Qin et al., 2020) wird und wurde zu SER geforscht. Diese Studien und Anwendungen beziehen sich jedoch auf den Kfz-Verkehr außerorts oder auf innerstädtische Autobahnen und somit auf Verkehrssituationen, in denen Interaktionen zwischen Kfz-Fahrenden untereinander oder mit der Umgebung stattfinden. Dagegen scheint es kaum Forschung zur Verständlichkeit von Infrastruktur für Radfahrende zu geben.

Gleichzeitig wird das Thema bereits an vielen Stellen in Regelwerken für den Radverkehr aufgegriffen: In den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) wird beschrieben, dass „die Führung des Radverkehrs [...] für alle Verkehrsteilnehmer eindeutig zu begreifen sein [soll]“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2010, S. 37), die Broschüre *Einladende Radverkehrsnetze* des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr rät: „Achten Sie auf ein Kreuzungsdesign, das für alle selbsterklärend ist!“ (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022, S. 23). Und auch in internationalen Regelwerken sind

solche Formulierungen zu finden (siehe z. B. City of Vancouver, 2017, S. 6; Transport Scotland, 2021, S. 9). Allerdings fehlen dort Informationen dazu, wie genau eine solche selbsterklärende, eindeutig zu begreifende oder eben: intuitiv verständliche Radinfrastruktur aussieht.

Dieser Frage soll der vorliegende Artikel nachgehen. Ich stelle eine systematische Literaturanalyse vor, die den aktuellen Forschungsstand zur Gestaltung intuitiv verständlicher Radverkehrsinfrastruktur aufbereitet. Einerseits sollen damit die vorhandenen Erkenntnisse aus der Literatur präsentiert werden. Andererseits zielt die systematische Literaturanalyse darauf ab, Forschungslücken zu identifizieren und den vorhandenen Forschungsbedarf deutlich zu machen.

## 2. Vorgehen

Systematische Literaturanalysen unterscheiden sich von anderen Formen der Literaturrecherche vor allem durch die strukturierte Arbeitsweise, wodurch Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sichergestellt werden sollen (siehe z. B. Paul et al., 2021; Wetterich & Plänitz, 2021). Dadurch entsteht nicht nur eine Darstellung vorhandener Erkenntnisse: „By integrating findings and perspectives from many empirical findings, a literature review can address research questions with a power that no single study has.“ (Snyder, 2019, S. 333) Die systematische Literaturanalyse ist somit eine Methode, um Erkenntnisse zu generieren. Das Vorgehen der vorliegenden systematischen Literaturanalyse wird im Folgenden beschrieben.

Drei Forschungsfragen waren für die Analyse leitend:

1. Welche Studien befassen sich mit der Verständlichkeit von Radverkehrsinfrastruktur
2. Was sind deren Hauptkenntnisse?
3. Welche Forschungslücken bestehen?

### Suchparameter

Aufbauend auf diesen Forschungsfragen wurde in einem iterativen Prozess eine Boole'sche Suchbegriffskette für die Suche in Fachdatenbanken erarbeitet. Darin enthalten sind die Suchbegriffe „Fahrrad“, „Infrastruktur“, „verständlich“ sowie Synonyme für diese Begriffe in Deutsch und Englisch:

((*Fahrrad\* OR Rad\**) AND (*Infrastruktur\* OR Gestaltung\* OR Straße\**) AND (*\*Verhalten\* OR \*Wahl OR Verständlich\* OR Usability OR Intuitiv\* OR \*Manöver\* OR \*Nutz\* OR Veränderung\* OR Wahrnehmung\* OR wahrgenommen\* OR empfunden\* OR selbsterklärend\* OR Nudge*)) OR ((*cycl\**

*OR bicycl\* OR bike\* OR biking*) AND (*infrastruktur\* OR design\* OR street OR road*) AND (*behaviour\* OR behavior\* OR choice OR comprehensib\* OR usage OR use OR usability OR intuitiv\* OR maneuver OR manoeuvre OR chang\* OR shift\* OR variati\* OR perceiv\* OR perception\* OR self-expl\* OR nudge\**))

Ich schränkte die Suche auf alle Veröffentlichungen seit 1988 ein, da in diesem Jahr die erste Studie (Riemersma, 1988) veröffentlicht wurde, auf die sich Theeuwes & Godthelp (1995) beziehen.

Drei Datenbanken wurden für die Suche ausgewählt: Einerseits *Transport Research Integrated Database* (TRID) als Fachdatenbank für Verkehrs- und Mobilitätsforschung, andererseits *Web of Science* (WoS) und *Scopus* als allgemeine Datenbanken für Fachartikel mit Peer Review. Um eine handhabbare Anzahl von Dokumenten zu erreichen, wurde die Suche nur für die Titel (und nicht beispielsweise für Titel und Abstract) angewandt. Um diese Einschränkung zu kompensieren, wurde Snowballing genutzt, also die Suche nach Artikeln, die die zuvor gefundenen Artikel zitieren oder von ihnen zitiert werden (siehe z. B. Jalali & Wohlin, 2012). Zudem wurden Artikel aus früheren Recherchen hinzugezogen.

Im Anschluss wurde ein dreistufiges Verfahren für Ein- und Ausschlusskriterien definiert (siehe Wetterich & Plänitz, 2021). In der ersten Stufe wurden sehr einfache und allgemeine Kriterien auf die Titel angewendet, in der zweiten Stufe etwas konkretere Kriterien auf Titel und Abstract und erst im dritten Schritt sehr konkrete Kriterien auf die Volltexte. Die Kriterien wurden mit 50 Suchergebnissen getestet und aufgrund der Erfahrungen leicht modifiziert.

### Ablauf

Die Datenbanksuche wurde am 16.07.2023 durchgeführt und führte zu 1.643 Dokumenten. Nach Ausschluss von Duplikaten (414) wurden 1.229 Dokumente in die Literaturverwaltungssoftware Citavi (Swiss Academic Software GmbH, 2023) importiert. Nur sieben der Dokumente erfüllten alle Einschlusskriterien. Zudem erfüllten drei von elf Studien, die aus früheren Recherchen bekannt waren, alle Einschlusskriterien. Durch Snowballing wurden weitere 44 Dokumente gefunden, wovon zwei Dokumente alle Einschlusskriterien erfüllten. Im Zuge der Analyse der wurden weitere fünf Studien ausgeschlossen, da sie zwar alle Einschlusskriterien erfüllt hatten, allerdings trotzdem das Thema nicht untersuchten (siehe dazu Abschnitt 4).

### 3. Ergebnisse

Somit ergab die systematische Literaturanalyse elf Studien, die das Thema Verständlichkeit von Radinfrastruktur behandelten, davon fünf Fachartikel mit Peer Review, vier Forschungsberichte, eine Diplomarbeit und ein Dokument, das als graue Literatur eingestuft wurde. In den nachfolgenden Abschnitten werden die in den Studien behandelten Themen und Erkenntnisse, daraus abgeleitete Empfehlungen sowie genutzte Methoden und Begriffe zusammenfassend beschrieben.

#### Themen und Erkenntnisse

In den Studien von Berghöfer und Vollrath (2022) und Huemer et al. (2018) wurde Verständlichkeit von Radinfrastruktur auf einer allgemeinen Ebene untersucht. Berghöfer und Vollrath (2022) ermittelten, welche Faktoren der Infrastruktur bei der Routenwahl relevant sind. Dabei wurde deutlich, dass die Faktoren *Klarheit* und *Vorhersagbarkeit*, zusammengefasst als *Ease of Use*, relevante Attribute für die Bewertung von Infrastruktur waren. Huemer et al. (2018) untersuchten, welche Situationen Ärger bei Radfahrenden auslösen. Dabei stellte sich Infrastruktur im Allgemeinen als eines der Hauptthemen heraus, wobei unter anderem unklare Verkehrssituationen und verwirrende Knotenpunkte genannt wurden.

In den anderen Studien wurde dagegen die Wahrnehmung von Radfahrenden in Bezug auf konkrete Infrastrukturmerkmale oder Regelungen untersucht. In drei dieser Studien wurden nicht-benutzungspflichtige Radwege untersucht (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Schäfer et al., 2021). Die Ergebnisse zeigen, dass Radfahrende diese Radwege oftmals als benutzungspflichtig fehlinterpretieren. Beispielsweise beschreiben Alrutz et al. (2009, S. 92), dass auf manchen nicht-benutzungspflichtigen Radwegen bis zu 80 % der Radfahrenden überzeugt waren, dass sie dort fahren müssten.

In zwei weiteren Studien wurden verschiedene Gestaltungsvarianten für eine Fahrradstraße untersucht (Baumgartner et al., 2020; Müggenburg et al.,

2022). Dabei wurde einerseits deutlich, dass die umgesetzte, konventionelle Gestaltung für die Befragten nicht verständlich genug war. Sie beschrieben sie stattdessen als inkonsistent, unvollständig oder sogar falsch markiert, sodass unklar bleibe, welche Regeln in der Fahrradstraße gelten (Baumgartner et al., 2020, S. 19 f.). Daran anschließend untersuchten Müggenburg et al. (2022) drei Gestaltungskonzepte für die Fahrradstraße (siehe Abbildung 1) in Bezug auf deren Klarheit, Sicherheit und Attraktivität.

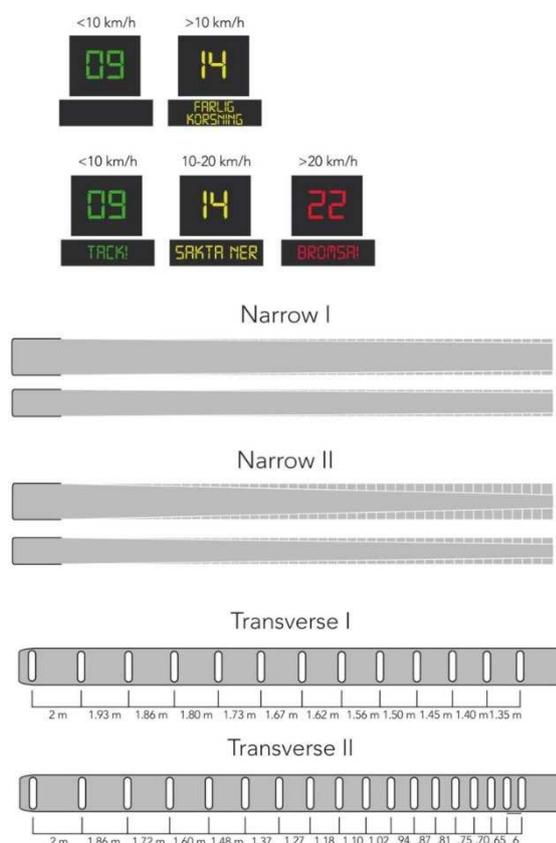
In weiteren Studien wurde die Wahrnehmung und Verständlichkeit verschiedener Regelungen und Infrastrukturarten betrachtet (Alrutz et al., 2009; Kaplan & Prato, 2016; Monsere et al., 2015; Polaček, 2014). Monsere et al. (2015) untersuchten verschiedene Knotenpunktgestaltungen in den USA und stellten fest, dass sowohl die tatsächliche Nutzung als auch die Verständlichkeit der Radverkehrsführung stark von der Gestaltung abhängig war. So nutzten bei einem Knotenpunkt nur 63% der Radfahrenden die korrekte Spur und 55% der Befragten gaben fälschlicherweise eine Absperrfläche als korrekte Position für Radfahrende an. Bei einem anderen Knotenpunkt lagen die Werte dagegen bei 91% bzw. 94%. Polaček (2014) untersuchte die Vorrangregelung zwischen Radfahrenden und Autofahrenden in Österreich, wobei Fehlerraten von bis zu 91% ermittelt wurden (Polaček, 2014, S. 83). Kaplan und Prato (2014) untersuchten die Nutzung von Autobahnen und Landstraßen durch Radfahrende in Israel. Dabei wurde deutlich, dass die subjektive Kategorisierung der Straßen oftmals nicht der rechtlichen Kategorisierung entsprach:

*“rural and urban highways as well as other inter-urban roads were largely perceived as motorways. The definitions were often disputed, with ensuing discussions about the dichotomy between the legal and the perceived definition of motorways on which cycling is prohibited.”* (Kaplan & Prato, 2016, S. 196)

In der oben bereits genannten Studie von Alrutz et al. (2009) beschwerten sich Teilnehmende, „dass es Radfahrern [...] nicht gerade leicht gemacht wird, sich



**Abbildung 1:** Gestaltungskonzepte für eine Fahrradstraße: Konventionell (links), Flow (Mitte), Shared Space (rechts). Quelle: Müggenburg et al. (2022, S. 1379)



**Abbildung 2:** Visuelle Nudges zur Geschwindigkeitsreduktion von Radfahrenden. Quelle: Bergh Alvergren et al. (2019, S. 55,57,60)

exakt an die Verkehrsregeln zu halten [...]und dass es in manchen Situationen auf diesen Strecken unsinnig erscheint, die für Radfahrer vorgeschriebenen Wege zu benutzen“ (Alrutz et al., 2009, S. 94) Zudem wurde ermittelt, dass Radfahrstreifen im Vergleich zu anderen Führungsformen wie Schutzstreifen oder Radwegen auf Gehwegniveau signifikant klarer und eindeutiger wahrgenommen wurden (Alrutz et al., 2009, S. 92).

Zuletzt untersuchten Bergh Alvergren et al. (2019) verschiedene visuelle Nudges, um die Geschwindigkeit von Radfahrenden zu beeinflussen (siehe Abbildung 2). Als Nudges bezeichneten sie dabei „any aspect [...] of road infrastructure that will mindlessly influence an individual's choosing a certain behaviour.“ (Bergh Alvergren et al., 2019, S. 11) Dabei zeigten verschiedene Markierungsarten auf dem Radweg eine Wirkung, selbst wenn Radfahrende sie nur unbewusst wahrgenommen hatten. Zudem wurde festgestellt, dass der Effekt umso höher war, je deutlicher die Nudges waren.

## Empfehlungen

Neben den dargestellten Themen unterscheiden sich die Studien auch in den Empfehlungen, die die Autor:innen aus den Erkenntnissen ableiten. In einigen Studien (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Huemer et al., 2018; Kaplan & Prato, 2016) werden keine oder vage Empfehlungen zur Gestaltung von Infrastruktur ausgesprochen; stattdessen werden Verkehrserziehungsprogramme oder andere Methoden empfohlen, um Regelkenntnis und -Einhaltung zu verbessern. In anderen Studien (Baumgartner et al., 2020; Berghöfer & Vollrath, 2022; Polaček, 2014; Schäfer et al., 2021) werden allgemeine Hinweise zur Gestaltung der Infrastruktur gegeben, so zum Beispiel die Empfehlung, dass die Gestaltung von Fahrradstraßen die gegenseitige Rücksichtnahme aller Verkehrsteilnehmenden verbessern sollte (Baumgartner et al., 2020). Die Autor:innen der drei verbleibenden Studien (Bergh Alvergren et al., 2019; Monsere et al., 2015; Müggenburg et al., 2022) geben wiederum konkrete Empfehlungen für eine oder zwei der untersuchten Gestaltungsvarianten.

## Terminologie

In den Studien finden sich verschiedene Begriffe, die mit intuitiver Verständlichkeit in Verbindung stehen.

Während manche Begriffe in mehreren Studien genutzt werden, kommen andere Begriffe seltener vor. So wird der Begriff *Klarheit* (bzw. *clarity*, *(un)clear*, *(un)klar* oder *Unklarheit*) in vier Studien verwendet (Berghöfer & Vollrath, 2022; Huemer et al., 2018; Müggenburg et al., 2022; Schäfer et al., 2021). In drei Studien (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Polaček, 2014) wird in der Diskussion der Ergebnisse auf die *Regelkenntnis* Bezug genommen. In jeweils zwei Studien werden die Begriffe *eindeutig* (bzw. *Eindeutigkeit*) (Alrutz et al., 2009; Schäfer et al., 2021), *understanding* (Bergh Alvergren et al., 2019; Monsere et al., 2015) und *confusion* (Huemer et al., 2018; Schäfer et al., 2021) genutzt. Weitere genutzte Begriffe sind *Foreseeability*, *Ease of Use* (Berghöfer & Vollrath, 2022), *Verärgerung über die Streckenführung* (Alrutz et al., 2009) und *comprehension* (Monsere et al., 2015)

Zudem werden in den Studien jeweils unterschiedlich viele Begriffe genutzt. Berghöfer und Vollrath (2022) beispielsweise verwenden drei Begriffe (*Clarity*, *Foreseeability* und *Ease of Use*), Baumgartner et al. (2020) nutzen die drei Begriffe *eindeutig*, *unvollständig* und *inkonsistent*. Nur in der Studie von Polaček (2014) kommt nur ein einziger Begriff vor, der sich auf Verständlichkeit bezieht: *Regelkenntnis*.

## Methoden

Des Weiteren wurden in den Studien verschiedene Methoden zur Datenerhebung angewendet. Vor-Ort Interviews oder Befragungen wurden in fünf Studien genutzt (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Bergh Alvergren et al., 2019; Monsere et al., 2015; Schäfer et al., 2021). In vier Studien wurden Umfragen verwendet, die entweder Online durchgeführt (Müggenburg et al., 2022; Polaček, 2014; Schäfer et al., 2021) oder per Post an Anwohnende versendet wurden (Monsere et al., 2015). Video- bzw. Vor-Ort-Beobachtungen wurden in drei Studien angewendet (Alrutz et al., 2009; Angenendt & Wilken, 1996; Monsere et al., 2015); weitere drei Studien nutzten Fokusgruppen (Baumgartner et al., 2020; Huemer et al., 2018; Schäfer et al., 2021). Weitere Datenquellen waren Repertory Grid Analysis (Berghöfer & Vollrath, 2022), Tagebücher (Huemer et al., 2018) und Online-Kommentare (Kaplan & Prato, 2016). Demzufolge wurden in sieben Studien mehrere Methoden zur Datenerhebung genutzt, während die restlichen vier Studien (Berghöfer & Vollrath, 2022; Kaplan & Prato, 2016; Müggenburg et al., 2022; Polaček, 2014) jeweils eine Erhebungsmethode verwendeten.

## 4. Diskussion

Im Folgenden werden die oben beschriebenen Ergebnisse diskutiert. Im ersten Abschnitt wird zunächst geklärt, inwiefern die beschriebenen Studien intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur untersuchten. Anschließend werden Forschungslücken sowie methodische Herausforderungen beschrieben.

### Verständlichkeit oder intuitives Design

Bereits in der Einleitung dieses Artikels nutzte ich mehrere Begriffe, um intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur zu umschreiben; in den untersuchten Studien wurden zahlreiche weitere Begriffe genutzt. Somit ist zunächst undeutlicher geworden, was genau unter intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur zu verstehen ist und ob sich die untersuchten Studien überhaupt auf das Thema beziehen.

Da keine Definition für intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur existiert, wird zunächst auf eine Definition für *intuitives Design* im Allgemeinen zurückgegriffen. Nach Mohs et al. (2006) ist „ein technisches System [...] intuitiv benutzbar, wenn es durch nicht bewusste Anwendung von Vorwissen durch den Benutzer zu effektiver Interaktion führt.“ (S. 130). Die Definition bezieht sich auf die Interaktion zwischen Menschen und technischen Systemen. Unter der Voraussetzung, dass sich (Rad-)Verkehrsinfrastruktur als technisches System verstehen lässt, werden in fast allen der untersuchten Studien Themen untersucht, die unter diese Definition fallen.

Beispielsweise wurden nicht-benutzungspflichtige Radwege in den entsprechenden Studien als benutzungspflichtig fehlinterpretiert und entsprechend auch von Radfahrenden genutzt, die lieber andere Infrastruktur genutzt hätten. Damit war in Bezug zur Definition von Mohs et al. (2006) die Interaktion zwischen Radfahrenden und der Infrastruktur nicht effektiv, da die Interaktion nicht zum adäquaten, exakten und vollständigen Ergebnis geführt hat (vgl. Naumann et al., 2007, S. 133f.)

Die genaueste Übereinstimmung zur Definition von intuitivem Design findet sich in der Studie von Bergh Alvergren et al. (2019). Mit der Definition von Nudges als Infrastrukturelemente, „that will mindlessly influence [...] behaviour“ (Bergh Alvergren et al., 2019, S. 11) beziehen sie sich wie Mohs et al. (2006) auf unbewusste Prozesse, die die Interaktion beeinflussen.

Dagegen gibt es nur in der Studie von Müggenburg et al. (2022) keinen Bezug zur Definition von intuitivem Design. Hier wurde der Begriff *clarity* (Klarheit) als Abkürzung für das Fragebogen-Item „the situation is clearly structured“ (Müggenburg et al., 2022, S. 1380) verwendet. Während der Begriff in anderen Studien als Synonym für die Verständlichkeit der Wegführung oder geltenden Regeln genutzt wurde und somit einen konkreten Bezug zur Interaktion zwischen Radfahrenden und der Infrastruktur aufweist, wird hier nur auf die klare Struktur selbst Bezug genommen und nicht auf die Interaktion wie in Mohs et al. (2006).

Neben der Definition von intuitivem Design schlagen Mohs et al. (2006) Kriterien vor, um zu überprüfen, ob Interaktionen intuitiv gestaltet sind. Diese Kriterien könnten in Forschungsarbeiten auf (Rad-)Verkehrsinfrastruktur angewendet werden, um intuitiv verständliche Infrastruktur zu gestalten und zu untersuchen.

### Forschungslücken und neue Forschungsgebiete

Anhand der oben beschriebenen Studien konnten Themengebiete identifiziert werden, die nicht abgedeckt wurden. Zudem ergeben sich aus vielen der oben genannten Erkenntnisse weitere Forschungsfragen.

So wurde beispielsweise in den Studien zu nicht-benutzungspflichtigen Radwegen ermittelt, dass Radfahrende diese fehlinterpretieren. Daraus ergibt sich die Frage, wie diese Radwege gestaltet sein müssten, um intuitiv verständlich zu sein.

Anders verhält es sich mit beiden Studien zur Fahrradstraße in Offenburg: hier wurden aus verschiedene Gestaltungsvorschlägen diejenigen ermittelt,

die am intuitivsten verständlich sind. Da sich die Forschung auf nur einen Planungsraum bezieht, ergibt sich weiterer Forschungsbedarf vor allem in der Anwendung der Ergebnisse bei anderen räumlichen, kulturellen oder rechtlichen Voraussetzungen. Ähnliches gilt für die Studien von Alrutz et al. (2009), Kaplan & Prato (2016), Monsere et al. (2015) und Polaček (2014): in diesen Studien wurden spezielle Gestaltungsvarianten in konkreten Kontexten untersucht. Darauf aufbauend könnte untersucht werden, inwiefern die dort gefundenen Ergebnisse auf andere Kontexte übertragen werden können. Bei der Studie von Bergh Alvergren et al. (2019) könnte wiederum untersucht werden, wie Nudges für andere Zwecke als Geschwindigkeitsreduktion gestaltet sein müssten.

Allein aufgrund der geringen Menge an Studien bestehen somit zahlreiche Forschungslücken. So beschränken sich die Themen auf einige wenige Spezialfälle. Zudem sind die Erkenntnisse und Gestaltungsempfehlungen entweder so spezifisch, dass sie nur für den jeweilig betrachteten Fall relevant sind oder so allgemein, dass sie nur schwer auf konkrete Fälle übertragbar sind. Dagegen fehlen Erkenntnisse zu allgemeinen Prinzipien oder Kriterien, die sich anwenden lassen, um intuitiv verständliche Radinfrastruktur zu gestalten.

#### Verhaltensbeobachtung statt Erfassung der Verständlichkeit

Wie in Abschnitt 2 beschrieben wurden fünf Studien aus der Untersuchung ausgeschlossen, weil sie zwar die Einschlusskriterien erfüllt hatten, allerdings trotzdem nicht intuitiv verständliche Radverkehrsinfrastruktur untersucht hatten.

In diesen Studien wurden Infrastrukturgestaltung und Verständlichkeit miteinander verknüpft, indem beispielsweise Infrastruktur als „complicated“ (Cieśla et al., 2018, S. 7), Maßnahmen als „intuitive Design“ (Kassim et al., 2019, S. 234) oder manche Abbiegevorgänge als „more intuitive than others“ (Lind et al., 2021, S. 734) bezeichnet werden. Diese Begriffe führten dazu, dass diese Studien zunächst in die Untersuchung aufgenommen wurden. Allerdings stellte sich heraus, dass in den Studien die Verständlichkeit der Infrastruktur nicht untersucht wurde. Stattdessen wurde das Verhalten von Radfahrenden im Zusammenhang mit Infrastruktur untersucht und Verständlichkeit als Erklärungsansatz genutzt. Allerdings könnten neben der Verständlichkeit auch andere Faktoren wie Sicherheitsgefühl oder Komfort das Verhalten beeinflusst haben. Da allerdings nicht die Gründe für das Verhalten, sondern ausschließlich das Verhalten selbst ermittelt wurde, können die Ergebnisse der

Studien einen direkten Einfluss der Verständlichkeit auf das Verhalten nicht zeigen.

Das gleiche gilt für zahlreiche Studien, die in vorherigen Arbeitsschritten aus der Untersuchung ausgeschlossen wurden. Diese Studien versuchten Gründe für das Verhalten von Radfahrenden im Zusammenhang mit der Infrastruktur zu finden, verwendeten dafür aber Methoden wie Beobachtungen, GPS-Daten oder Daten von eigens angefertigten Sensoren an Fahrrädern. Damit konnten sie zwar Verhaltensänderungen nachweisen, diese allerdings nur mutmaßlich auf die Verständlichkeit von Infrastruktur zurückführen (siehe z. B. Apasnore et al., 2017; Berghöfer et al., 2023; Chapman & Noyce, 2014; Nikiforiadis et al., 2023).

Mindestens 20 Studien wurden aus diesem Grund ausgeschlossen: sie untersuchten Verhalten im Zusammenhang mit Infrastruktur, konnten das jedoch aufgrund der verwendeten Methoden nicht auf die Gründe und entsprechend nicht auf die Verständlichkeit schließen. Mit Bezug auf die oben vorgestellte Definition von intuitivem Design (Mohs et al., 2006) könnte weitere Forschung dazu beitragen, den Zusammenhang zwischen intuitiv verständlicher Gestaltung von Radinfrastruktur und dem Verhalten von Verkehrsteilnehmenden zu untersuchen.

#### Limitationen

Ich möchte auf einige Limitationen hinweisen, die diese Arbeit hat.

Einerseits hängen die Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse stark von den verwendeten Suchbegriffen, den genutzten Datenbanken und den Ein- und Ausschlusskriterien ab. Alle dazu getroffenen Entscheidungen haben einen Einfluss auf die Suchergebnisse. Entsprechend ist es denkbar, dass eventuell relevante Studien aufgrund dieser Suchkriterien systematisch nicht gefunden wurden.

Zudem war die Suche auf Studien in deutscher und englischer Sprache begrenzt. Nach meiner Erfahrung werden im deutschsprachigen Raum viele Studien zu Verkehrsinfrastruktur durch staatliche Institutionen beauftragt und entsprechend oftmals nur auf Deutsch veröffentlicht. Gleiches ist für andere Länder zu vermuten, sodass eventuell relevante Studien in anderen Sprachen als Deutsch oder Englisch veröffentlicht wurden und entsprechend nicht Teil dieser Analyse waren.

#### 5. Fazit

In dieser systematischen Literaturanalyse wurden elf Studien zu intuitiv verständlicher Radverkehrsinf-

rastruktur analysiert. In den Studien wurden verschiedene Methoden und Begriffe genutzt, um die Verständlichkeit zu untersuchen und zu beschreiben. Die Schlussfolgerungen aus den Studien reichen von sehr konkreten Gestaltungsempfehlungen über sehr allgemeine Empfehlungen bis hin zu Empfehlungen, die sich nicht auf die Gestaltung beziehen.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse konnte ich verschiedene Forschungslücken identifizieren. Einerseits gibt es zahlreiche Arten von Infrastruktur, die in den Studien nicht behandelt wurden. Andererseits besteht ein Bedarf an Forschung zu allgemeinen Prinzipien, wie Radverkehrsinfrastruktur gestaltet werden muss, um möglichst intuitiv verständlich zu sein. Zudem gibt es zahlreiche Studien, die zwar das Verhalten in Abhängigkeit von Infrastruktur untersuchten, durch die verwendeten Methoden jedoch nicht ermitteln konnten, welchen Einfluss die Verständlichkeit der Infrastruktur hatte. Somit besteht auch hier weiterer Forschungsbedarf.

## Literatur

Abadi, M. G., & Hurwitz, D. S. (2018). Bicyclist's perceived level of comfort in dense urban environments: How do ambient traffic, engineering treatments, and bicyclist characteristics relate? *Sustainable Cities and Society*, 40, 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.003>

Alrutz, Dankmar., Bohle, W., Müller, H., & Prahlow, H. (2009). *Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern: Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.262: Unfallrisiko, Konfliktpotenzial und Akzeptanz der Verkehrsregelungen von Fahrradfahrern* (Straßentechnik Heft V 184; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen). <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/191/file/V184.pdf>

Ambros, J., Valentová, V., Gogolín, O., Andrášik, R., Kubeček, J., & Bíl, M. (2017). Improving the Self-Explaining Performance of Czech National Roads. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2635(1), 62–70. <https://doi.org/10.3141/2635-08>

Angenendt, W., & Wilken, M. (1996). *Gehwege mit Benutzungsmöglichkeiten für Radfahrer* (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Nummer 737). Bundesministerium für Verkehr.

Apasnore, P., Ismail, K., & Kassim, A. (2017). Bicycle-vehicle interactions at mid-sections of mixed traffic streets: Examining passing distance and bicycle comfort perception. *Accident Analysis & Prevention*,

106, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.05.003>

Baumgartner, A., Fischer, L., & Welker, J. (2020). *Die Wirkung des Mobilitätsdesigns auf die Nutzung und Wahrnehmung von Fahrradstraßen: Untersuchungen anhand eines Fallbeispiels in Offenbach am Main* (Arbeitspapiere zur Mobilitätsforschung, Nummer 24). Goethe-Universität, Institut für Humangeographie, Arbeitsgruppe Mobilitätsforschung. <http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/frontdoor/index/index/docId/51589>

Becher, T., Baier, M. M., Steinauer, B., & Krüger, H.-P. (2006). *Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Nummer 148). Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft GmbH. <https://edocs.tib.eu/files/e01fn19/1667721488.pdf>

Bergh Alvergren, V., Karlsson, M., & Wallgren, P. (2019). *Specification of nudges*. [https://www.mebesafe.eu/wp-content/uploads/2020/01/MeBeSafe\\_D3.1\\_Specification-of-nudges.pdf](https://www.mebesafe.eu/wp-content/uploads/2020/01/MeBeSafe_D3.1_Specification-of-nudges.pdf)

Berghöfer, F. L., Huemer, A. K., & Vollrath, M. (2023). Look right! The influence of bicycle crossing design on drivers' approaching behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 95, 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.03.017>

Berghöfer, F. L., & Vollrath, M. (2022). Cyclists' perception of cycling infrastructure – A Repertory Grid approach. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 87, 249–263. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.04.012>

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.). (2022). *Einladende Radverkehrsnetze: Begleitbroschüre zum Sonderprogramm „Stadt und Land“*. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/einladende-radverkehrsnetze.pdf? blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StV/einladende-radverkehrsnetze.pdf?blob=publicationFile)

Chapman, J. R., & Noyce, D. A. (2014). Influence of roadway geometric elements on driver behavior when overtaking bicycles on rural roads. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 1(1), 28–38. [https://doi.org/10.1016/S2095-7564\(15\)30086-6](https://doi.org/10.1016/S2095-7564(15)30086-6)

Cieśla, K., Krukowicz, T., & Firląg, K. (2018). Analysis of cyclists' behaviour on different infrastructure elements. In *MATEC Web Conf.* <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823103001>

City of Vancouver. (2017). *Transportation Design Guidelines: All Ages and Abilities Cycling Routes* (1.1). <https://vancouver.ca/files/cov/design-guidelines-for-all-ages-and-abilities-cycling-routes.pdf>

Dumbaugh, E., Saha, D., & Merlin, L. (2020). Toward Safe Systems: Traffic Safety, Cognition, and the Built Environment. *Journal of Planning Education and Research*. <https://doi.org/10.1177/0739456X20931915>

Ferreira, M. C., Costa, P. D., Abrantes, D., Hora, J., Felício, S., Coimbra, M., & Dias, T. G. (2022). Identifying the determinants and understanding their effect on the perception of safety, security, and comfort by pedestrians and cyclists: A systematic review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 91, 136–163. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.10.004>

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2010). *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen* [R2]. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Friel, D., & Wachholz, S. (2024, Oktober 18). *Cyclists' perception on cycling infrastructure – the relation of safety, comfort, and comprehensibility* [Präsentation]. ICTCT, The Hague.

Friel, D., Wachholz, S., Zimmermann, L., Werner, T., Schwedes, O., & Stark, R. (2023). Cyclists' perceived safety on intersections and roundabouts – A qualitative bicycle simulator study. *Journal of Safety Research*, 87, 143–156. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.09.012>

Huemer, A. K., Oehl, M., & Brandenburg, S. (2018). Influences on anger in German urban cyclists. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 58, 969–979. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.07.026>

Jalali, S., & Wohlin, C. (2012). Systematic literature studies. In *Proceedings of the ACM-IEEE international symposium on Empirical software engineering and measurement*. ACM. <https://doi.org/10.1145/2372251.2372257>

Kassim, A., Culley, A., & McGuire, S. (2019). Operational Evaluation of Advisory Bike Lane Treatment on Road User Behavior in Ottawa, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation*

*Research Board*, 2673(11), 233–242. <https://doi.org/10.1177/0361198119851450>

Kaplan, S., & Prato, C. G. (2016). “Them or Us”: Perceptions, cognitions, emotions, and overt behavior associated with cyclists and motorists sharing the road. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(3), 193–200. <https://doi.org/10.1080/15568318.2014.885621>

Lind, A., Honey-Rosés, J., & Corbera, E. (2021). Rule compliance and desire lines in Barcelona's cycling network. *Transportation Letters*, 13(10), 728–737. <https://doi.org/10.1080/19427867.2020.1803542>

Mackie, H. W., Charlton, S. G., Baas, P. H., & Villaseñor, P. C. (2013). Road user behaviour changes following a self-explaining roads intervention. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 742–750. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.026>

Mohs, C., Naumann, A., Meyer, H. A., & Pohlmeier, A. (2006). IUUI – Intuitive Use of User Interfaces. In T. Bosenick, M. Hassenzahl, M. Müller-Prove, & M. Peissner (Hrsg.), *Usability Professionals 2006*.

Monsere, C. M., Foster, N., Dill, J., & McNeil, N. (2015). User Behavior and Perceptions at Intersections with Turning and Mixing Zones on Protected Bike Lanes. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2520(1), 112–122. <https://doi.org/10.3141/2520-13>

Müggenburg, H., Blitz, A., & Lanzendorf, M. (2022). What is a good design for a cycle street? - User perceptions of safety and attractiveness of different street layouts. *Case Studies on Transport Policy*, 10(2), 1375–1387. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.04.021>

Naumann, A., Hurtienne, J., Israel, J. H., Mohs, C., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A., & Hußlein, S. (2007). Intuitive Use of User Interfaces: Defining a Vague Concept. In D. Harris (Hrsg.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics: 7th international conference, EPCE 2007, Beijing, China, July 22–27, 2007; proceedings* (Bd. 4562, S. 128–136). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73331-7_14)

Nikiforiadis, A., Chatzali, E., Ioannidis, V., Kalogiros, K., Paipai, M., & Basbas, S. (2023). Investigating factors that affect perceived quality of service on pedestrians-cyclists shared infrastructure. *Travel Behaviour and Society*, 31, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.01.006>

Nobis, C., Kuhnimhof, T., Follmer, R., & Bäumer, M. (2017). *Mobilität in Deutschland – Zeitreihenbericht 2002 – 2008 – 2017*.

Paul, J., Lim, W. M., O’Cass, A., Hao, A. W., & Bresciani, S. (2021). Scientific procedures and rationales for systematic literature reviews (SPAR-4-SLR). *International Journal of Consumer Studies*, 45(4). <https://doi.org/10.1111/ijcs.12695>

Polaček, C. M. (2014). *Vorsicht Vorrang!: Die Problematik der Vorrangregelung sowie rechtliche und bauliche Möglichkeiten für eine verständliche und sichere Gestaltung des Vorrangs zwischen Fahrrädern und Kraftfahrzeugen im österreichischen Straßenverkehr* [Diplomarbeit, Technische Universität Wien]. <https://doi.org/10.34726/hss.2014.21142>

Qin, Y., Chen, Y., & Lin, K. (2020). Quantifying the Effects of Visual Road Information on Drivers’ Speed Choices to Promote Self-Explaining Roads. *International journal of environmental research and public health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072437>

Riemersma, J. B. J. (1988). An empirical study of subjective road categorization. *Ergonomics*, 31(4), 621–630. <https://doi.org/10.1080/00140138808966704>

Schäfer, P. K., Freyer, L., Bohl, M., & Winkler, Z. (2021). *Duale Radlösungen 2.0: Nutzungsverhalten der Radfahrenden bei dualer Radinfrastruktur durch Befragung*. [https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich\\_1/FFin/Neue\\_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Duale\\_Radloesungen\\_Abschlussbericht.pdf](https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Duale_Radloesungen_Abschlussbericht.pdf)

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of*

*Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.ibusres.2019.07.039>

Stülpnagel, R., & Binnig, N. (2022). How safe do you feel? - A large-scale survey concerning the subjective safety associated with different kinds of cycling lanes. *Accident Analysis and Prevention*, 167, 106577. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106577>

Swiss Academic Software GmbH. (2023). *Citavi* [Software]. <https://www.citavi.com/de>

Theeuwes, J., & Godthelp, H. (1995). Self-explaining roads. *Safety Science*, 19(2–3), 217–225. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00022-U](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00022-U)

Transport Scotland. (2021). *Cycling by Design*. <https://www.transport.gov.scot/media/50323/cycling-by-design-update-2019-final-document-15-september-2021-1.pdf>

Wachotsch, U., Kolodziej, A., Specht, B., Kohlmeyer, R., & Petrikowski, F. (2014). *E-Rad macht mobil: Potenziale von Pedelecs und deren Umweltwirkung* (Umweltbundesamt, Hrsg.).

Wetterich, C., & Plänitz, E. (2021). *Systematische Literaturanalysen in den Sozialwissenschaften: Eine praxisorientierte Einführung*. Verlag Barbara Budrich.

#### **AutorInnenangaben**

David Friel  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
TU Berlin, Institut für See- und Landverkehr, Fachgebiet Integrierte Verkehrsplanung, Sekr. SG4, Salz- ufer 17-19, 10587 Berlin, Deutschland

E-Mail: [david.friel@tu-berlin.de](mailto:david.friel@tu-berlin.de)