

# Hochgenaue amtliche Höhendaten zur Berechnung der fußläufigen Erreichbarkeit für ältere Menschen

## Official High-precision Elevation Data for Calculating Walking Accessibility by Senior Citizens

Hartmut Müller | Konstantin Geist | Klaus Böhm | Markus Schaffert

### Zusammenfassung

Die fußläufige Erreichbarkeit von Serviceeinrichtungen ist ein wesentliches Kriterium für die Bewertung innerörtlicher Räume, wie Ortsteile, Stadtviertel oder Wohngebiete. Mit dem Walk Score steht eine Methode zur Verfügung, mit der sich die Erreichbarkeit auf einem ebenen Straßen- und Wegenetz quantifizieren lässt. Die hier beschriebene Weiterentwicklung des Walk Score bezieht 3D-Informationen ein, die insbesondere für ältere Menschen von Bedeutung sind. Versorgungseinrichtungen werden dabei nach ihrer Bedeutung für diese Zielgruppe unterschiedlich gewichtet. Zudem werden (Steigungs-)Barrieren berücksichtigt. Das amtliche Digitale Höhenmodell DGM1 erfüllt die hohen Anforderungen an die Genauigkeit der Höhen. Die praktische Anwendung wird am Beispiel der Stadt Kaiserslautern demonstriert. Im Ergebnis zeigt sich ein konzentrisches Muster der Erreichbarkeit mit einem hohen Walk Score im innerörtlichen Bereich, der zur Peripherie hin abnimmt. Gleichzeitig sind wegen innerörtlicher Unterschiede von Topografie, Bevölkerungsverteilung und Versorgungsstandorten zahlreiche kleinräumige Abweichungen von diesem Muster vorhanden. Die Einbeziehung der detaillierten Höheninformation führt zu deutlich realistischeren Werten für den Walk Score. So wird den Bedürfnissen älterer Menschen Rechnung getragen und damit eine verbesserte Grundlage für eine seniorengerechte Stadtplanung geschaffen.

**Schlüsselwörter:** ältere Menschen, fußläufige Erreichbarkeit, geneigte Fußwege, Höhendaten, Walk Score

### Summary

*A key criterion for the evaluation of urban areas is the accessibility of service facilities on foot. The Walk Score is a method used to quantify accessibility on a flat network of roads and paths. Information on inclined paths can improve the Walk Score, particularly for senior citizens. The specific weighting of service facilities accounts for the needs of older people. The official DGM1 meets the high requirements for the accuracy of elevation data. The city of Kaiserslautern serves as a practical use case for implementation. The result shows a concentric pattern of accessibility, a high walk score in the inner city decreasing towards the periphery. At the same time, there are numerous small-scale variations of this general pattern due to local differences in topography, population distribution and supply locations. The introduction of detailed information on slopes leads to significantly more realistic values for the Walk Score. In particular, the needs of older people are bet-*

*ter taken into account, which can lead to better urban planning tailored to the needs of senior citizens.*

**Keywords:** senior citizen, walkability, inclined pathways, elevation data, Walk Score

### 1 Einführung

Aktuelle Leitbilder und stadtpolitische Konzepte wie die 15-Minuten-Stadt oder 20-Minuten-Quartiere forcieren die Entwicklung hin zu Städten, die die aktive Mobilität der Bewohner fördern und in denen Versorgungseinrichtungen in kurzen Entfernungen erreichbar sein sollen (vgl. Blaschke 2022, Gertz und Werner 2022). Die Fußgängerfreundlichkeit spielt in solchen Konzepten eine wesentliche Rolle. Es gibt zahlreiche gute Gründe, eine fußgängerfreundliche Stadt anzustreben (Adami et al. 2024). Einerseits lässt sich dadurch die Abhängigkeit vom Auto reduzieren und zu einem geringeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß beitragen (vgl. Chen et al. 2024). Andererseits können fußgängerfreundliche Quartiere die Alltagsmobilität der Bewohner verbessern und in Folge Krankheiten vorbeugen und gesundes Altern fördern helfen (Brückert 2021, Raunig und Hodzic-Srndic 2020). Vor diesem Hintergrund finden Indizes der Fußgängerfreundlichkeit zunehmend Verwendung, da sie objektive Messwerte liefern und den Vergleich von Quartieren und Städten ermöglichen (Tran 2018, Pajares und Jehle 2021, Schmitz et al. 2023). Allerdings werden bislang die Bedürfnisse bestimmter Bevölkerungsgruppen, wie z. B. älterer Menschen, nur begrenzt berücksichtigt (Bayar und Yilmaz 2022, Jehle et al. 2024). Für eine ausführlichere Diskussion der Thematik siehe Schaffert et al. (2023).

In diesem Beitrag präsentieren wir eine Methodik zur Berechnung der Fußgängerfreundlichkeit, die sich stärker an den Bedürfnissen von Senioren orientiert. Ausgangspunkt ist ein generischer Ansatz, der sogenannte Walk Score, den wir an die Spezifika älterer Menschen anpassen. Zu diesem Zweck berücksichtigen wir Hindernisse wie ansteigendes oder abschüssiges Gelände sowie Treppen und berechnen die Gehzeit älterer Menschen unter Beachtung dieser Hindernisse. Außerdem passen wir die Gewichtung der zu erreichenden Versorgungseinrichtungen wie Restaurants, Lebensmittelgeschäfte, Ärzte, Haltestellen etc. (siehe Tab. 1) entsprechend ihrer Relevanz für Senioren an.

Reliefiertes Gelände stellt in vielen Gemeinden eine Herausforderung für die Fußgängerfreundlichkeit dar, die in der Umsetzung von Leitbildern zur nachhaltigen Stadtentwicklung, wie der 15-Minuten-Stadt, bislang noch wenig Berücksichtigung findet. Um diese Lücke zu schließen, ist die Verfügbarkeit von hochauflösenden Geländedaten eine Voraussetzung. Daten der deutschen Vermessungsverwaltungen erlauben aufgrund ihrer Genauigkeit, Steigungen auf Straßen und Wegen zu detektieren. Mit solchen Daten unter offener Lizenz können Bestrebungen zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung sinnvoll unterstützt werden.

Im Folgenden stellen wir ein Untersuchungsgebiet vor und skizzieren die Methodik des von uns entwickelten Senioren-Walk Score Indexes. Anschließend werden die Ergebnisse, die mit diesem Ansatz erzielt wurden, präsentiert und diskutiert. Dabei wird auch auf die Grenzen der Methode und ihrer Umsetzung eingegangen.

## 2 Untersuchungsgebiet und methodischer Rahmen

### 2.1 Auswahl des Untersuchungsgebiets

Am nordwestlichen Rand des Pfälzerwalds, einem der größten zusammenhängenden Waldgebiete Deutschlands, liegt die Stadt Kaiserslautern. Sie ist mit etwa 100.000 Einwohnern eine der größten Städte in Rheinland-Pfalz. Das Stadtzentrum ist im Wesentlichen flach, während die Topografie insbesondere in den Stadtrandgebieten stärkere Geländeneigungen mit sich bringt. Das gegebene Relief verspricht neue Erkenntnisse zur gegenseitigen Abhängigkeit von Neigungen der Verkehrswege und dem Grad der Versorgung, insbesondere für ältere Mitbürger.

### 2.2 Messung der Fußgängerfreundlichkeit, Indizes und Kenngrößen

In den Fachwissenschaften werden verschiedene Metriken zur Messung der Fußgängerfreundlichkeit einer Stadt diskutiert. Der Walkability Index von Dobenyšová/Křivka beispielsweise berechnet die Fußgängerfreundlichkeit aus den folgenden Komponenten:

- Dichte von Straßenkreuzungen,
- Haushaltsdichte,
- Flächennutzung,
- Anteil von Einzelhandels- und Gewerbegebäuden (als mögliche Ziele der Fußgänger).

Der ILS-Walkability Index (Schmitz et al. 2023) ergänzt diese Metrik durch die fußläufige Entfernung zu Einrichtungen wie Supermärkten und Schulen auf einem Straßen- bzw. Wegenetz.

Straßen- und Wegenetze bilden auch die Modell-Grundlage des Walk Scores (WS, Shields et al. 2023). Mit dem WS lässt sich die Fußgängerfreundlichkeit jeder be-

liebigen Adresse angeben. Auf Grundlage der Entfernung der Adresse zu den nächstgelegenen Versorgungseinrichtungen vergibt der WS Punkte nach dem Prinzip: je näher, desto höher die Punktzahl. Um nicht für jede Einzeladresse im Stadtgebiet umfangreiche Weganalysen durchführen zu müssen und um möglichst nahe an der Struktur der Zensusdaten zu bleiben, wurden die Mittelpunkte eines Rasters von 100 Meter × 100 Meter als Ausgangspunkte für das Routing im Untersuchungsgebiet genutzt. In demselben Raster werden nämlich auch die Bevölkerungsdaten aus dem Zensus bereitgestellt.

Der WS schätzt die fußläufige Erreichbarkeit anhand der Nähe zu Versorgungseinrichtungen wie Bars, Buchläden, Cafés, Drogerien, Fitnesszentren, Lebensmittelgeschäften, Bibliotheken, Schulen, Parks, Restaurants und Musikgeschäften ein (Hall und Ram 2018) und verbindet diese über eine vorjustierte Gewichtung (Horak et al. 2022). Zusätzlich enthält der WS eine Entfernungsfunktion, die gewährleistet, dass Einrichtungen, die aufgrund ihrer Nähe schneller zu erreichen sind, höher gewichtet werden als weiter entfernte Einrichtungen der gleichen Kategorie. Grundsätzlich fließen alle Standorte relevanter Versorgungseinrichtungen in die Berechnung ein, die in einer Gehzeit von bis zu 20 Minuten erreicht werden können. Die resultierende Punktzahl ist ein aggregierter Wert, bei dem alle zu erreichenden Einrichtungen berücksichtigt und entsprechend ihrer Gewichtung behandelt werden.

Der WS wurde in Nordamerika entwickelt und liefert, ebenso wie die Indizes des ILS oder von Dobenyšová/Křivka, allgemeine Werte, die nicht auf die Bedürfnisse bestimmter Bevölkerungsgruppen oder auf andere Regionen zugeschnitten sind. Towne et al. (2016), Hirsch et al. (2017) und Horak et al. (2022) gehen einen ersten Schritt, um den WS an die Bedürfnisse älterer Menschen anzunähern. Sie bleiben dabei im Zweidimensionalen und wenden den WS auf eben gedachte Straßennetze an.

## 3 Walkability Index für Senioren – ergänzter Walk Score

### 3.1 Entwicklung eines barrieresensitiven Netzes

Voraussetzung für die Berechnung des Walk Score ist ein Netz von begehbar Wegen und Straßen. Wir verwenden in unserem Ansatz, wie viele aktuelle Walkability-Studien, Straßendaten aus dem OpenStreetMap-Projekt (OSM) (Schmitz et al. 2023, Horak et al. 2022, Otsuka et al. 2021). Obwohl die Daten bei OSM ohne amtliche Regelwerke zur Sicherung der Qualität erfasst werden, hat die Datenqualität von Straßen mittlerweile ein Niveau erreicht, das sie für unseren Anwendungszweck als geeignet erscheinen lässt (Helbich et al. 2012, Zhang und Malczewski 2017). So haben zum Beispiel bereits Zielstra und Hochmair (2012) durchschnittliche Längenabweichungen von etwa 10 % zwischen den aus TomTom-Daten und OSM-Daten berechneten Fußgänger Routen für Berlin und München ermittelt.

Im Folgenden bezeichnen wir die vorzeichenfreie Abweichung von Wege- und Straßenverläufen gegen die Horizontale als Neigung, unterteilt in Steigung für ansteigenden und Gefälle für abfallenden Verlauf.

Geneigtes Gelände ist eine der größten Herausforderungen beim Gehen für ältere Menschen. Vorhandene Walkability-Berechnungsmodelle, die das Gelände berücksichtigen, sind nicht für die Bedarfe älterer Menschen optimiert und verwenden in der Regel Daten mit geringer Auflösung, wie z. B. das SRTM-DEM (z. B. Deng et al. 2020). Bei einer Auflösung von nur 1 Bogensekunde (ca. 30 m am Äquator) und einer schwankenden und begrenzten Höhengenauigkeit, wie im Fall des SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), bleiben jedoch viele neigungsbedingte Hindernisse im Straßennetz unerkannt oder werden falsch interpretiert.

Wir berechnen deshalb die lokale Wegneigung mit Hilfe eines hochauflösenden Digitalen Geländemodells (DGM), wie es von den deutschen Vermessungsbehörden, in unserem Fall vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz, bereitgestellt wird. Das DGM1 beschreibt die Geländeoberfläche ohne Vegetation und Gebäude über ein Raster von Bodenpunkten im Abstand von 1 Meter, bei einer Höhengenauigkeit von 0,15 Meter (AdV 2021). Wie die folgenden Überlegungen zeigen, sind Daten dieser Qualität, sowohl in Bezug auf die räumliche Auflösung als auch auf die Höhengenauigkeit, unbedingt erforderlich, um ausreichend genaue Neigungen für kurze Entfernungen zu berechnen.

Die nachfolgend dargestellte Berechnung von Neigungswerten aus einem digitalen Höhenmodell orientiert sich an Kelm et al. (2017) und Müller et al. (2017). Digitale Höhenmodelle der Erdoberfläche liegen üblicherweise in Form regelmäßiger Gitter mit Höhenangaben für die Gitterpunkte vor (Abb. 1).

$$n = \frac{h_2 - h_1}{s} \quad (1)$$

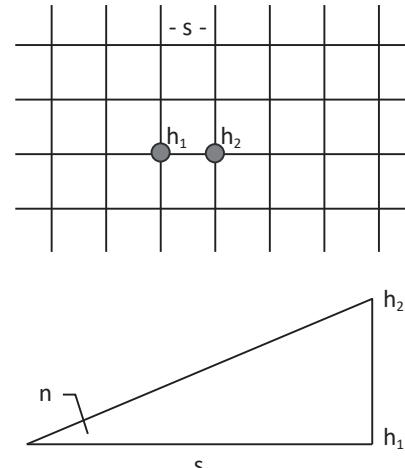
Für gegebene Höhen  $h_1$  und  $h_2$  und Gitterweite  $s$  lässt sich die Neigung  $n$  aus Gleichung (1) berechnen.

$$\sigma_n = \sigma \sqrt{q_{nn}} \quad (2)$$

$$q_{nn} = f_n^t Q f_n = \left( -\frac{1}{s} + \frac{1}{s} \right) \begin{pmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\frac{1}{s} \\ \frac{1}{s} \end{pmatrix}$$

Wie aus Gleichungen (2) und (3) hervorgeht, ist die Standardabweichung  $\sigma_n$  der Neigung  $n$  eine Funktion von Gitterweite  $s$  und Korrelationsfaktor  $r$  zwischen  $h_1$  und  $h_2$ , mit  $0 \leq r \leq 1$ .

$$\sigma_n = \sigma \sqrt{\frac{2}{s^2}(1-r)} \quad (3)$$



$h_1, h_2$  = Höhen benachbarter Gitterpunkte  
 $s$  = Gitterweite  
 $n$  = Neigung

Abb. 1: Digitales Höhenmodell: Gitterweite, Höhen, Neigung

Frei verfügbare Datenquellen wie SRTM oder EU Digital Elevation Model (EU-DEM) bieten eine typische Gitterweite von etwa 1 Bogensekunde. Das EU-DEM ist verfügbar mit einer Gitterweite von 25 m und einer Höhengenauigkeit von  $\pm 7$  m Root Mean Square Error, RMSE (<https://land.copernicus.eu/user-corner/publications/eu-dem-flyer/view>). Mit  $\sigma_{h1} = \sigma_{h2} = \sigma = 7$  m und  $s = 25$  m erhalten wir aus Gleichung (3)

$\sigma_n = 0,40$  oder 40 %, für unkorrelierte Höhen ( $r = 0$ ),  
 $\sigma_n = 0$ , für voll korrelierte Höhen ( $r = 1$ ).

Schlimmstenfalls sind die berechneten Neigungswerte also mit einem Fehler von 40 % behaftet. Die geringe räumliche Auflösung derart grober Höhenmodelle bringt als weiteren Nachteil mit sich, dass kleinere Neigungsänderungen im Wegeverlauf nicht erkannt werden. Für ein hoch aufgelöstes DGM1 liefert Gleichung (3) mit  $\sigma_{h1} = \sigma_{h2} = \sigma = 0,15$  m,  $s = 1$  m die Werte

$\sigma_n = 0,21$  oder 21 %, für unkorrelierte Höhen ( $r = 0$ ),  
 $\sigma_n = 0$ , für voll korrelierte Höhen ( $r = 1$ ).

Die berechneten Neigungswerte können hier Fehler von bis zu 21 % aufweisen, was für unsere Zwecke ebenfalls problematisch ist, da wir Neigungen in Abstufungen von 5 % unterscheiden wollen. Die räumliche Auflösung von 1 Meter ist jedoch hier nicht erforderlich, da sich die Neigungen von Straßen und Wegen nicht derart schnell ändern. Um dies zu nutzen, unterteilen wir das Straßennetz in Liniensegmente von etwa fünf Metern Länge. Deren Neigung wird aus den Höhen des jeweiligen Anfangs- und Endpunktes und der Länge des Liniensegments ermittelt. Anfangs- und Endhöhe werden mit bilinearer Interpolation aus den je vier umgebenden Gitterpunkten berechnet.

Damit lässt sich eine sinnvolle Auflösung ( $s = 5$  m) des Straßen- und Wegenetzes mit der hohen Genauigkeit der Geländehöhen ( $\sigma = 0,15$  m) verbinden.

Gleichung (3) liefert dann für die Neigung eines einzelnen Liniensegments

$$\sigma_n = 0,04 \text{ oder } 4\%, \text{ für unkorrelierte Höhen } (r = 0), \\ \sigma_n = 0, \text{ für voll korrelierte Höhen } (r = 1).$$

Der Verarbeitungsprozess wurde in Python umgesetzt. Für Routing-Aufgaben wurde die Bibliothek NetworkX verwendet, welche die gesamte Datenaufbereitung einschließlich des Imports von OSM-Daten über die offene Online-Schnittstelle abdeckt. Die Visualisierung der Daten erfolgte in QGIS. Im untenstehenden Kasten ist der Ablauf für die Berechnung der Gehzeit sowie für die Netzwerkanalyse zur Berechnung des Walk Score wiedergegeben, beides in Form von Pseudocode (siehe Erläuterungen unter 3.2).

### 3.2 Seniorspezifische Anpassungen – Gehzeit und Versorgungseinrichtungen

Die Gehzeit ändert sich mit der Steigung bzw. dem Gefälle einer Wegstrecke für alle Fußgänger. Die entsprechenden Gehzeiten wurden in Anlehnung an Weidmann (1993) definiert. Die durchschnittliche Gehgeschwindigkeit eines

Fußgängers im ebenen Gelände beträgt danach 1,34 m/s (Meter pro Sekunde, entsprechend 5 km/h), bei 5 % Steigung 1,29 m/s, bei 10 % 1,19 m/s und bei 15 % 1,07 m/s. Die entsprechende Abwärtsgeschwindigkeit wird für ein Gefälle von 5 % auf 1,38 m/s, für -10 % auf 1,40 m/s und für -15 % auf 1,40 m/s geschätzt. Nach Artmann et al. (2019) wurde die Gehgeschwindigkeit von Senioren auf ebenem Gelände auf 1 m/s festgelegt. Bei linearer Umrechnung führt dies bei einer Steigung von 5 % zu einer Geschwindigkeit bergauf von 0,96 m/s, bei 10 % zu 0,89 m/s und bei 15 % zu 0,80 m/s. Bergab erhält man den Wert 1,03 m/s bei einem Gefälle von -5 % und 1,04 m/s bei Gefälle von -10 % und -15 %.

Steigungen und Gefälle von mehr als 15 % stellen in unserem Modell unüberwindbare Hindernisse dar.

Die Geländeneigung ist nicht das einzige Hindernis, das die Begehbarkeit einschränkt. Treppen, entnommen aus OSM, erhalten den Geschwindigkeitswert 0,65 m/s.

Mit den zuvor beschriebenen Neigungsmaßen und Geschwindigkeitsabstufungen lässt sich für jeden Fußweg die benötigte Zeit für Nichtsenioren und Senioren berechnen. Für jeden Ausgangspunkt kann damit das innerhalb 20 Minuten fußläufig zureichende Gebiet ermittelt werden. Darin können mit Hilfe von GIS-Software und entspre-

```

Für jedes Liniensegment  $d_{AB}$ 
  berechne Gehzeit  $t_{d,AB}$ , Liniensegment  $d, AB$ , Gehgeschwindigkeit  $g, AB$ ;  $t_{d,AB} = d, AB \times g, AB$ 
  berechne Gehzeit  $t_{d,BA}$ , Liniensegment  $d, AB$ , Gehgeschwindigkeit  $g, BA$ ;  $t_{d,BA} = d, AB \times g, BA$ 
  !  $t_{d,AB} \neq t_{d,BA}$ , Gehgeschwindigkeit aufwärts unterscheidet sich von Gehgeschwindigkeit abwärts
  unterscheide
    falls »Neigung« > 0 und »Neigung« ≤ 5 dann Gehgeschwindigkeit = 1.29/1.34 m/s
    falls »Neigung« > 5 und »Neigung« ≤ 10 dann Gehgeschwindigkeit = 1.19/1.34 m/s
    falls »Neigung« > 10 und »Neigung« ≤ 15 dann Gehgeschwindigkeit = 1.07/1.34 m/s
    falls »Neigung« < 0 und »Neigung« ≥ -5 dann Gehgeschwindigkeit d = 1.38/1.34 m/s
    falls »Neigung« < -5 und »Neigung« ≥ -15 dann Gehgeschwindigkeit = 1.40/1.34 m/s
    falls »highway« = »steps« dann Gehgeschwindigkeit = 0.65/1.34 !Treppenstufen
    falls »Neigung« = 0 dann Gehgeschwindigkeit = 1 m/s
  beende Fallunterscheidung
beende Berechnung für Liniensegmente

```

```

Für jede Kategorie der Versorgungseinrichtungen  $c_i$  (siehe Tab. 1)
  für jeden Zentralpunkt  $p_j$  des 100 m × 100 m Zensusgitters
    suche die nächstgelegene Versorgungseinrichtung  $f_{ij}$ .
    ! Die nächste Versorgungseinrichtung ist die, die mit den geringsten Kosten erreicht werden kann,
      das heißt in der kürzesten Gehzeit unter Berücksichtigung der Streckenneigung
    berechne Beitrag von  $f_{ij}$  zum gesamten Walk Score WS  $WS_{ij} = \text{Gewicht}(c_i) \times \text{Gewicht}(f_{ij})$ 
    unterscheide
      Gewicht( $f_{ij}$ ) = 1 falls Gehzeit  $t_{ij} \leq 5$  min,
      Gewicht( $f_{ij}$ ) = 0,75 falls Gehzeit 5 min <  $t_{ij} \leq 10$  min,
      Gewicht( $f_{ij}$ ) = 0,50 falls Gehzeit 10 min <  $t_{ij} \leq 15$  min,
      Gewicht( $f_{ij}$ ) = 0,25 falls Gehzeit 15 min <  $t_{ij} \leq 20$  min,
      Gewicht( $f_{ij}$ ) = 0 falls Gehzeit  $t_{ij} > 20$  min
    beende Fallunterscheidung
  beende Berechnung für Zentralpunkte
beende Berechnung für Versorgungseinrichtungen

```

Tab. 1: Berücksichtigte Versorgungseinrichtungen, gewichtet für Senioren

Unterhaltung/ Erholung/Sport <sup>1</sup>	Lebensmittel	Gesundheits- versorgung	Mobilität	Dienstleistung	Soziales
<b>Gewicht 20</b>	<b>Gewicht 30</b>	<b>Gewicht 25</b>	<b>Gewicht 8</b>	<b>Gewicht 12</b>	<b>Gewicht 5</b>
Bar/Kneipe	Bäcker	Apotheke	Fernbahnhof	Bank/ Geldautomat	Seniorentreff
Bibliothek/ Buchhandlung	Kiosk	Ärzte/ Krankenhaus	Bushaltestelle	Friseur	
Kirche	Lebensmittel- geschäft	Pflege- einrichtungen		Post	
Kino	Metzger			Reinigung	
Museum/Theater/ Galerie	sonstige Lebensmittel			Schuster/ Schlüsseldienst	
Restaurant/Café				Schneider	
Schwimmbad/ Badestelle				Optiker	
Sportstätte				Hörakustiker	
				sonstige Geschäfte	

<sup>1</sup> Die Kategorien sind abgeleitet aus OSM-Schlüsselwerten, [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Map\\_Features](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Map_Features), letzter Zugriff 12. Oktober 2024.

chenden Geodaten die erreichbaren Versorgungseinrichtungen ermittelt werden und führen zur Bewertung (im Sinne eines WS) des Ausgangspunktes.

Tab. 1 zeigt die Liste der relevanten Versorgungseinrichtungen einschließlich ihrer Gewichtung, die mit Blick auf frühere Untersuchungen zur Walkability vorgenommen wurden (Müller et al. 2017, Ahlmeyer und Wittowski 2018). Die berücksichtigten Versorgungseinrichtungen sind in die Kategorien eingeteilt, die sich aus den OSM-Schlüsselwerten ergeben (siehe Fußnote Tab. 1). Ahlmeyer und Wittowski (2018) benutzen ein Erreichbarkeitskonzept, das von der Position der Nachfrager ausgeht und eine Bewertung mit Blick auf die Ziele der Daseinsfürsorge durchführt. Hieraus leiten sie einen Erreichbarkeitsindex ab, der auf gewichteten Versorgungskategorien aufbaut. Das in unserem Beitrag vorgestellte Modell geht ebenfalls von diesem Konzept aus, modifiziert die konkrete Gewichtung jedoch mit Blick auf die Bedürfnisse älterer Menschen, indem einige Einrichtungskategorien entfallen, wie beispielsweise Kitas und Schulen, und die Gesamtsumme der Gewichte der berücksichtigten Versorgungskategorien entsprechend auf den Wert 100 normiert wird.

Als maximal mögliche Gehzeit wurden 20 Minuten angenommen, was sowohl der WS-Logik als auch in Deutschland durchgeführten Studien zur Seniorenmobilität (Burgdorf et al. 2021) entspricht. Mit einem Standard-Netzwerk-Routing lassen sich alle spezifizierten Einrichtungen finden, die innerhalb der maximalen Gehzeit (20 Minuten) und der maximal zulässigen Steigung der Gehstrecke (15 % maximale Steigung) von einem bestimmten Ausgangspunkt aus erreicht werden können. Den maximalen WS-Wert 100 (Tab. 2) erhält man, wenn alle aufge-

führten Einrichtungen (siehe Tab. 1) in fünf Minuten oder weniger erreicht werden können. Der Wert nimmt linear ab, je länger der Fußweg zu den Einrichtungen dauert und je weniger Einrichtungen sich innerhalb von 20 Minuten erreichen lassen. WS = 0 bedeutet, dass keine Einrichtung innerhalb von 20 Minuten Gehzeit erreicht werden kann. Wie bereits beschrieben, wird die Gehzeit von der Gehgeschwindigkeit bestimmt, die wiederum von der Neigung der Gehstrecke abhängt.

Tab. 2: Walk Score Klassifizierung der fußläufigen Erreichbarkeit

Walk Score WS	
90–100	<b>Walker's Paradise</b> Tägliche Besorgungen können zu Fuß erledigt werden
70–89	<b>Very Walkable</b> Die meisten täglichen Besorgungen können zu Fuß erledigt werden
50–69	<b>Somewhat Walkable</b> Einige täglichen Besorgungen können zu Fuß erledigt werden
25–49	<b>Car-Dependent</b> Die meisten täglichen Besorgungen können zu Fuß nicht erledigt werden
0–24	<b>Car-Dependent</b> Fast alle täglichen Besorgungen können zu Fuß nicht erledigt werden

Quelle: [www.redfin.com/how-walk-score-works](http://www.redfin.com/how-walk-score-works), letzter Zugriff August 2024.

Als Ausgangspunkte für das Routing im Untersuchungsgebiet wurden die Mittelpunkte eines 100 Meter × 100 Meter-Rasters genutzt. In demselben Raster werden auch die Bevölkerungsdaten aus dem Zensus bereitgestellt. Infolgedessen lassen sich die Ergebnisse der Walkability-Berechnung anschließend mit der Anzahl betroffener Personen und weiteren statistischen Merkmalen räumlich verknüpfen.

#### 4 Ergebnisse

Abb. 2 zeigt die Steigungsverhältnisse auf dem Straßen- und Wegenetz in den bebauten Gebieten der Stadt Kai-

terslautern. Während die Verkehrswege in der Innenstadt überwiegend relativ flach sind, finden sich insbesondere in den Stadtrandgebieten und den eingemeindeten Stadtteilen auch signifikante Steigungen bis hin zu mehr als 15 %.

Abb. 3 illustriert die Auswirkungen dieser Steigungsverhältnisse auf die Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen zu Fuß. Jeder Punkt repräsentiert ein Gebiet von 100 m × 100 m und stellt den Einfluss der Neigungen von Straßen und Wegen auf die Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen für die Bewohner dieses Gebiets kumuliert dar. Hat ein roter Punkt beispielsweise den Wert 15, so bedeutet dies, dass der Einfluss der Neigungen in der Umgebung dieses Punktes den Walk Score gegen-

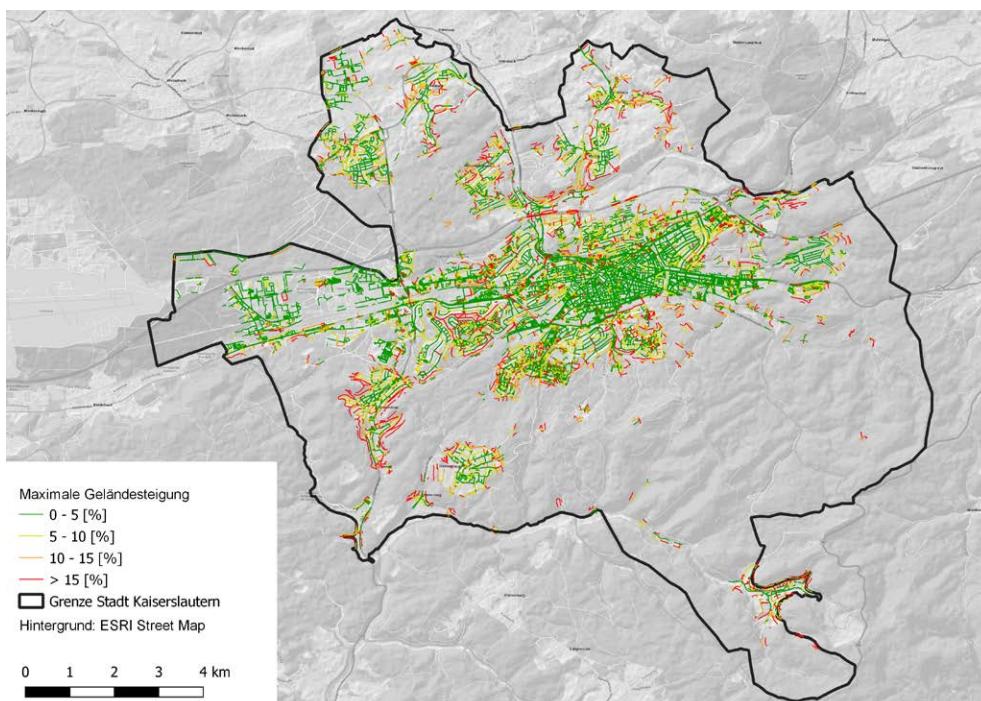


Abb. 2:  
Neigungen der Straßen und  
Wege in Kaiserslautern

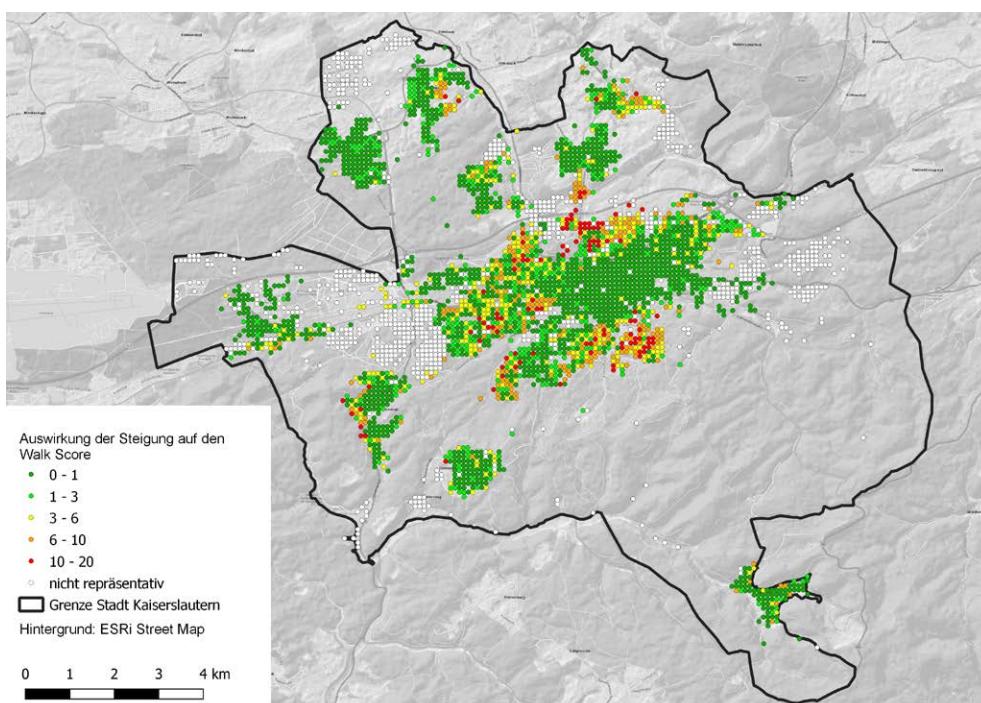


Abb. 3:  
Einfluss der Steigung auf die  
Erreichbarkeit

über einer vollkommen flachen Umgebung um 15 Punkte bzw. 15 % vermindert. Die Verteilung der Werte über das gesamte Stadtgebiet bestätigt die Annahmen des Modells, wonach die Erreichbarkeit in Gebieten mit stärkeren Neigungen nachteilig beeinflusst wird, während dieser Effekt in flachen Gebieten nicht auftritt.

Abb. 4 veranschaulicht die räumliche Verteilung der Gesamtwerte für den Walk Score, wenn die Neigungsverhältnisse in die Berechnungen mit einbezogen werden. Wie leicht zu erkennen ist, liegen die günstigsten Verhältnisse in der Innenstadt vor. Im Stadtzentrum zeigt sich ein Bereich, in dem sich so gut wie alle Besorgungen zu Fuß erledigen lassen ( $WS = 90$  bis  $100$ ), in Richtung Peripherie gefolgt

von Bereichen, in denen dies für die meisten ( $WS = 70$  bis  $89$ ) bzw. für einige Erledigungen ( $WS = 50$  bis  $69$ ) gilt. Geht man weiter in Richtung der äußeren Peripherie, so ist man dort für die meisten ( $WS = 25$  bis  $49$ ) bzw. fast alle Besorgungen ( $WS = 0$  bis  $24$ ) auf andere Transportmittel angewiesen. Ähnliche Verhältnisse wie in der Peripherie des Stadtzentrums finden wir in den äußeren Stadtteilen.

Der Einfluss der Steigungsverhältnisse wird an einem Beispiel aus dem südwestlichen Stadtteil Hohenecken näher betrachtet (siehe Abb. 5). Wie in allen peripher gelegenen Stadtteilen ist die Nahversorgung hier zwar generell weniger gut als in der Innenstadt; im Zentrum des Stadtteils sind aber immerhin etwas über 50 % der betrachteten

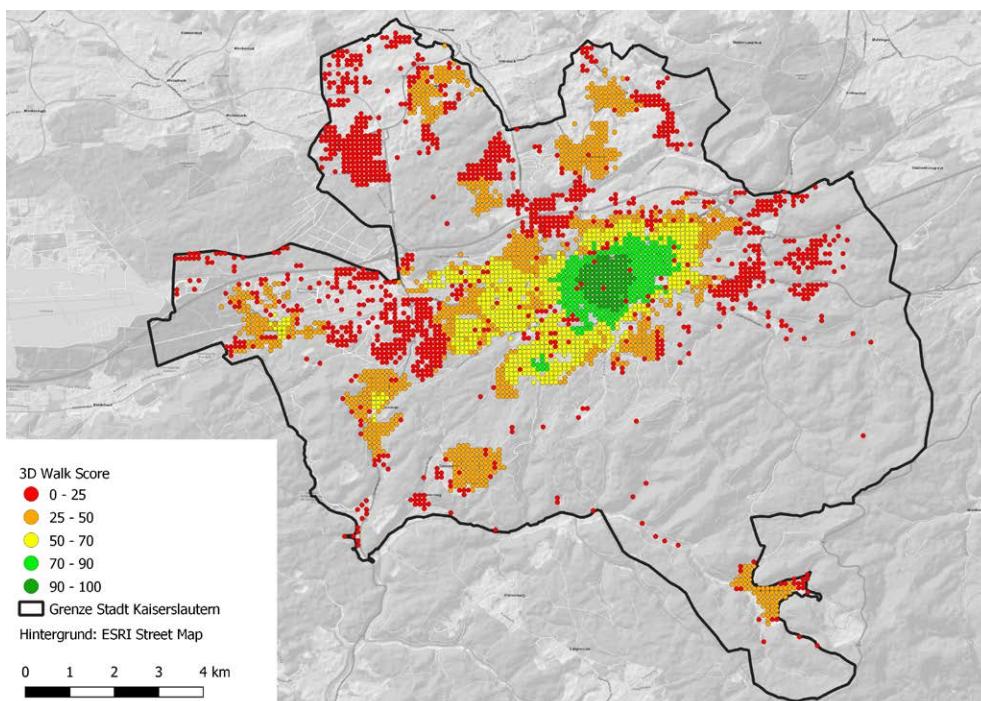


Abb. 4:  
Erreichbarkeit unter Berück-  
sichtigung der Steigung

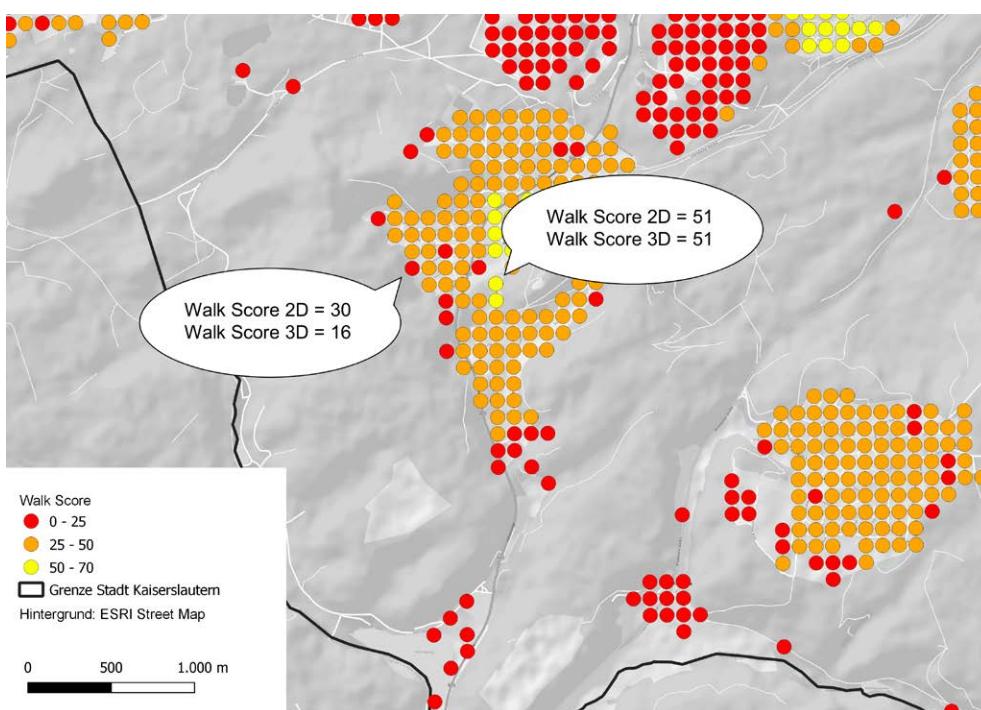


Abb. 5:  
Walk Score im südwestlichen  
Stadtteil Hohenecken

Versorgungseinrichtungen zu Fuß erreichbar. Wie die beiden in Abb. 5 farblich und durch eine Sprechblase markierten Zellen zeigen, kann dieser Wert jedoch rasch sinken, sobald man das Zentrum von Hohenecken verlässt. Die gelb markierte Zelle erreicht mit 51 % für den Walk Score knapp die mittlere Kategorie der Tab. 2 (»Somewhat Walkable«), hier insbesondere dank des flachen Verlaufs der Hauptversorgungsachse. Der Einfluss von Neigungen ist in diesem Bereich gleich null. Am westlichen Ortsrand, etwa 500 Meter von der Hauptstraße entfernt, liegt der Wert für den WS bei 16 %; Versorgungseinrichtungen sind von hier aus also kaum zu Fuß durch Senioren erreichbar. Der gesamte Unterschied von  $51 - 16 = 35\%$  ist zum einen der ungünstigeren räumlichen Lage der Zelle ( $51 - 30 = 21\%$ ), zum anderen (16 %) aber auch den deutlichen Neigungen in der Umgebung geschuldet.

## 5 Grenzen und Erweiterungsmöglichkeiten der eingesetzten Methodik

Die Qualität der Eingangsdaten bestimmt die Ergebnisse räumlicher Analysen wesentlich mit. Neben dem hochauflösten DGM fanden im beschriebenen Anwendungsfall Daten aus OSM Verwendung. Während die Qualität von Straßendaten aus OSM in der Stadt Kaiserslautern angemessen ist, können Versorgungsstandorte aus OSM Schwächen, u. a. in Bezug auf die Vollständigkeit der Einrichtungen aufweisen (Brückner et al. 2021).

Nicht nur die Datenbasis, auch die dem Modell zugrundeliegende Methodik weist Einschränkungen auf. Dies betrifft zum Beispiel die Fokussierung auf ältere Menschen, die zwar langsamer als jüngere Personen gehen, aber keine Gehhilfe benötigen. Die Mobilität älterer Menschen ist sehr unterschiedlich und reicht von Menschen, die ans Bett gefesselt sind, bis hin zu Senioren, die noch joggen oder Rad fahren können. Um die Lebenswirklichkeit möglichst vieler Senioren besser widerzuspiegeln, sollten künftig verschiedene Klassen bzw. Rollen der Mobilität im Alter definiert werden. Im gewählten Anwendungsfall werden alle Personen über 65 Jahre als homogene Gruppe betrachtet und nicht nach Geschlecht, Alter (z. B. junge vs. ältere Senioren) oder individuellen Mobilitätseinschränkungen weiter unterschieden.

Neuere Untersuchungen zur Gehgeschwindigkeit dürfen zudem die Vermutungen über die im Modell angenommenen Geschwindigkeiten weiter verbessern (vgl. Haeger et al. 2024). Auch die Auswahl der Kategorien mit Relevanz für ältere Menschen und ihre Gewichtung basiert, dem Forschungsstand entsprechend, auf einer überschaubaren Anzahl an Studien und sollte einen Fokus künftiger Forschungen bilden.

## 6 Fazit

In diesem Beitrag wird eine Methode zur Berechnung der fußläufigen Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen vorgestellt und ihre Anwendung in der Stadt Kaiserslautern, einem Oberzentrum in Rheinland-Pfalz, beschrieben. Die Methode basiert auf dem Walk-Score-Ansatz, der um Geländeneigungen und Treppen im Straßen- und Wege- netz sowie längere Gehzeiten für ältere Menschen erweitert wird. Darüber hinaus wird der Index durch die Auswahl und Gewichtung von Versorgungseinrichtungen entsprechend ihrer Bedeutung für Senioren optimiert.

Die Studie zeigt, dass sich der Walk Score im Hinblick auf die spezifischen Bedürfnisse älterer Menschen anpassen lässt. Verschiedene Daten, amtliche und freiwillig erhobene, lassen sich erfolgreich kombinieren. Daten aus hochwertigen digitalen Höhenmodellen machen es möglich, das Erreichbarkeitsmodell von 2D auf 3D zu erweitern und damit dem Umstand Rechnung zu tragen, dass starke Steigungen und Gefälle die Erreichbarkeit vor allem für ältere Menschen wesentlich beeinträchtigen. Unsere Arbeit zeigt, dass frei verfügbare Höhenmodelle wie beispielsweise SRTM für derartige Anwendungen ungeeignet sind und dass sehr genaue digitale Höhenmodelle erforderlich sind, um Neigungen von Wegen aller Art zuverlässig zu berechnen. Für die Umsetzung wurde deshalb das digitale Höhenmodell DGM1 mit 1 Meter Rasterweite und 0,15 Meter Höhengenauigkeit der Rasterpunkte verwendet, um die Anforderungen an die Höhengenauigkeit zu erfüllen.

Um die Kompatibilität mit statistischen Daten zu gewährleisten, wurde dem Erreichbarkeitskonzept das INSPIRE-konforme 100 m-Gitter als Raumbezugssystem zugrunde gelegt. Damit können sämtliche in diesen Gitterzellen vorliegende Zensusdaten – wie beispielsweise nach Alter, Familienstand, Staatangehörigkeit differenzierte Bevölkerungszahlen, durchschnittliche Haushaltsgrößen, Leerstandsquoten – problemlos mit den Erreichbarkeiten kombiniert werden, womit das Potenzial der hier vorgestellten Lösung deutlich erweitert wird. Da sämtliche in dieser Arbeit verwendeten Daten in weitgehend einheitlicher Form bundesweit vorliegen, dürfte die Lösung keine weiteren Modifikationen benötigen, um in beliebigen Regionen Deutschlands eingesetzt zu werden.

## Danksagung

Die Autoren danken dem Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz für die unkomplizierte Bereitstellung der Höhendaten des DGM1, ohne die diese Studie nicht möglich gewesen wäre.

Dieser Artikel entstand im Projekt RAFVINIERT. Das Projekt RAFVINIERT – Raumintelligenz für die integrierte Versorgung von Senioren in ländlichen Quartieren – wird durch die Carl-Zeiss-Stiftung im Programm »Transfer – Intelligente Lösungen für eine älter werdende Gesellschaft« gefördert.

## Literatur

- Adami, T., Westenhöfer, J., Benneckenstein, A., Sinning, H., Bojahr, C., Sibilis, A., Tolg, B. (2024): Gesundheitsförderung durch städtische Planung. Prävention und Gesundheitsförderung, 1–7.
- AdV (2021): Produkt- und Qualitätsstandard für Digitale Geländemodelle, Version 3.2.
- Ahlmeyer, F., Wittowsky, D. (2018): Was brauchen wir in ländlichen Räumen? Erreichbarkeitsmodellierung als strategischer Ansatz der regionalen Standort- und Verkehrsplanung. Raumforsch. Und Raumordn. Spat. Res. Plan. 76, 531–550.
- Artmann, M., Mueller, C., Goetzlich, L., Hof, A. (2019): Supply and demand concerning urban green spaces for recreation by elderly living in care facilities: The role of accessibility in an explorative case study in Austria. Front. Environ. Sci. 7, 136.
- Bayar, R., Yilmaz, M. (2022): Measuring age-friendliness based on the walkability indices of older people to urban facilities. Urban Design Int. 28, 35–51.
- Blaschke, H. (2022): Digitale Tools zur Unterstützung des Akteur: innen orientierten Planungsansatzes der 15-Minuten Stadt (Diplomarbeit, Wien).
- Brückner, J., Schott, M., Zipf, A., Lautenbach, S. (2021): Assessing shop completeness in OpenStreetMap for two federal states in Germany. Agil. GIScience Ser. 2, 20.
- Burgdorf, M., Krischausky, G., Müller-Keifslér, R. (2021): Indikatoren zur Nahversorgung: Erreichbarkeit von Gütern und Dienstleistungen des erweiterten täglichen Bedarfs; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Bonn, Germany.
- Brüchert, T. (2021): Gesundheitsfördernde Stadtentwicklung – Public Health-Ansätze zur Förderung aktiver Mobilität bei älteren Erwachsenen (Doctoral dissertation, Universität Bremen).
- Chen, W., Tan, Z., Wu, Y., Biljecki, F., Liao, S., Zhou, Q., Gao, F. (2024): Decarbonizing megacities: A spatiotemporal analysis considering inter-city travel and the 15-minute city concept. Cities, 152, 105252.
- Deng, C., Dong, X., Wang, H., Lin, W., Wen, H., Frazier, J., Holmes, L. (2020): A data-driven framework for walkability measurement with open data: A case study of triple cities, New York. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 9, 36.
- Frank, L. D., Sallis, J. F., Saelens, B. E., Leary, L., Cain, K., Conway, T. L., Hess, P. M. (2010): The development of a walkability index: Application to the Neighborhood Quality of Life Study. Br. J. Sport. Med. 44, 924–933.
- Gertz, C., Werner, L. (2022): Von der Stadt der kurzen Wege zur 15-Minuten-Stadt-Wandel und Umsetzung eines Leitbilds. 3.3. 9.6 – Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung.
- Hall, C. M., Ram, Y. (2018): Walk score® and its potential contribution to the study of active transport and walkability: A critical and systematic review. Transp. Res. Part D Transp. Environ. 61, 310–324.
- Haeger, C., Mümken, S. A., Spang, R. P., Brauer, M., Voigt-Antons, J. N., Gellert, P. (2024): Außerhäusliche Mobilität von Personen ab 75 Jahren im ländlichen Raum. Ergebnisse aus einer GPS-Studie. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz, 1–10.
- Helbich, M., Amelunxen, C., Neis, P., Zipf, A. (2012): Comparative spatial analysis of positional accuracy of OpenStreetMap and proprietary geodata. Proceedings of GI\_Forum, 4, 24.
- Hirsch, J. A., Winters, M., Clarke, P. J., Ste-Marie, N., McKay, H. A. (2017): The influence of walkability on broader mobility for Canadian middle aged and older adults: An examination of Walk Score™ and the Mobility Over Varied Environments Scale (MOVES). Preventive medicine, 95, S60–S67.
- Horak, J., Kukuliak, P., Maresova, P., Orlikova, L., Kolodziej, O. (2022): Spatial Pattern of the Walkability Index, Walk Score and Walk Score Modification for Elderly. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 11, 279.
- Jardim, B., de Castro Neto, M. (2022): Walkability Indicators in the Aftermath of the COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. Sustainability 14, 10933.
- Jehle, U., Baquero, M. T., BaghaiePoor, M., Büttner, B. (2024): How Does Pedestrian Accessibility Vary for Different People? Development of a Perceived User-Specific Accessibility Measure for Walking (PAW). Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 189, 2024, 104203, ISSN 0965-8564. DOI: 10.1016/j.tra.2024.104203.
- Kelm, T., Beyel, S., Müller, C., Klein, U. (2017): Identifizierung von Steigungen als Barrieren für Mobilitätseingeschränkte Personen. In: Proceedings of 22nd International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society, REAL CORP 2017 PANTA RHEI—A World in Constant Motion, Wien, Austria, 12–14 September 2017, 251–259.
- Maghelal, P. K., Capp, C. J. (2011): Walkability: A Review of Existing Pedestrian Indices. J. Urban Reg. Inf. Syst. Assoc. 23, 5–19.
- Müller, C., Beyel, S., Klein, U. (2017): Barrierefreie Erreichbarkeit von Einrichtungen der lokalen Daseinsvorsorge und Raumattraktivität für Senioren: GIS-basierte demographische Betroffenheitsanalyse und kartographische Darstellungen zur Erkenntnisgewinnung. KN – J. Cartogr. Geogr. Inf. 67, 202–209.
- Otsuka, N., Wittowsky, D., Damerau, M., Gerten, C. (2021): Walkability assessment for urban areas around railway stations along the Rhine-Alpine Corridor. J. Transp. Geogr. 93, 103081.
- Pajares, E., Jehle, U. (2021): GOAT: Ein interaktives Erreichbarkeitsinstrument zur Planung der 15-Minuten-Stadt. Vol. 79, 265–273, Rhombos-Verlag.
- Raunig, K., Hodzic-Srndic, N. (2020): Die vielfältigen Vorteile aktiver Mobilität auf Mensch und Umwelt (und wie wir sie erreichen). In Proceedings of REAL CORP 2020, 25th International Conference on Urban Development, Regional Planning and Information Society: 1263–1269.
- Reyer, M., Fina, S., Siedentop, S., Schlicht, W. (2014): Walkability is only part of the story: Walking for transportation in Stuttgart, Germany. Int. J. Environ. Res. Public Health 11, 5849–5865.
- Schaffert, M., Geist, K., Albrecht, J., Enners, D., Müller, H. (2023): Walk Score from 2D to 3D—Walkability for the Elderly in Two Medium-Sized Cities in Germany. ISPRS International Journal of Geo-Information, 12(4), 157.
- Schmitz, J., Fina, S., Gerten, C. (2023): Wie fußgängerfreundlich sind deutsche Großstädte? Neue Ergebnisse aus der Walkability-Forschung. Raumforschung und Raumordnung/Spatial Research and Planning, 81(4), 327–341.
- Shields, R., Gomes da Silva, E. J., Lima e Lima, T., Osorio, N. (2023): Walkability: a review of trends. Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability, 16(1), 19–41.
- Tran, M. C. (2018): Walkability als ein Baustein gesundheitsförderlicher Stadtentwicklung und -gestaltung. In: Planung für gesundheitsfördernde Städte. Hannover, Verlag der ARL-Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 284–296.
- Towne, S. D., Won, J., Lee, S., Ory, M. G., Forjuoh, S. N., Wang, S., Lee, C. (2016): Using Walk Score™ and neighborhood perceptions to assess walking among middle-aged and older adults. Journal of community health, 41, 977–988.
- Weidmann, U. (1993): Transporttechnik der Fußgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fußgängerverkehrs, Literaturauswertung. IVT Schr. 90, 6585.
- Zhang, H., Malczewski, J. (2017): Accuracy evaluation of the Canadian OpenStreetMap road networks. International Journal of Geospatial and Environmental Research, 5(2).
- Zielstra, D., Hochmair, H. H. (2012): Using Free and Proprietary Data to Compare Shortest-Path Lengths for Effective Pedestrian Routing in Street Networks. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2299, 41–47.

## Kontakt

Hartmut Müller | Konstantin Geist | Klaus Böhm | Markus Schaffert  
 Hochschule Mainz University of Applied Sciences  
 i3mainz Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik  
 55118 Mainz  
 hartmut.mueller@hs-mainz.de | konstantin.geist@hs-mainz.de  
 klaus.boehm@hs-mainz.de | markus.schaffert@hs-mainz.de