

Identifizierung von Steigungen als Barrieren für mobilitätseingeschränkte Personen

Thorsten Kelm, Sven Beyel, Christian Müller, Ulrike Klein

(B. Eng. Thorsten Kelm, Hochschule Bochum, Fachbereich Geodäsie, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum, thorsten.kelm@hs-bochum.de)

(B. Eng. Sven Beyel, Hochschule Bochum, Fachbereich Geodäsie, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum, sven.beyel@hs-bochum.de)
(M. Sc. Christian Müller, Hochschule Bochum, Fachbereich Geodäsie, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum, christian1.mueller@hs-bochum.de)

(Prof. Dr. Ulrike Klein, Hochschule Bochum, Fachbereich Geodäsie, Lennershofstr. 140, 44801 Bochum, ulrike.klein@hs-bochum.de)

1 ABSTRACT

Nicht erst durch den demographischen Wandel verändern sich die Anforderungen an den öffentlichen Straßenraum. Die Forderung und Nachfrage nach barrierefreier Mobilität, besonders für Menschen mit körperlichen Einschränkungen, bilden die Grundlage für viele Planungen. Der öffentliche Straßenraum weist neben Behinderungen durch Verkehrsinfrastrukturen, wie Schilder und Treppen, auch grundlegende Hindernisse auf. Gerade Steigungen sind insbesondere für ältere und mobilitätseingeschränkte Menschen sowie Rollstuhlfahrer eine enorme Erschwernis. Ein realistisches Bild von der Barrierefreiheit des Straßenraumes stellt daher eine wichtige Grundlage für eine effektive Verkehrsplanung dar. Barrieren im Straßenraum werden allerdings aktuell aufgrund des hohen Erfassungsaufwands nur für ausgewählte Gebiete erfasst, Steigungen lassen sich dabei in der Örtlichkeit nur mit einem speziellen Neigungsmesser aufwändig ermitteln.

In dieser Studie sollten speziell Steigungen in einer flächendeckenden Karte für die Stadt Wetter in Nordrhein-Westfalen (NRW) dargestellt werden. Das Ziel war es, ein Werkzeug zu erstellen, welches es ermöglicht, Straßen anhand ihrer Steigungen zu klassifizieren und diese dementsprechend auf einer Karte darzustellen. Voraussetzung war, dass die Analyse in einem freien Geoinformationssystem durchgeführt wird und ausschließlich amtliche Geodaten verwendet werden.

Durch das vorgestellte Werkzeug, welches in einer Kombination aus QGIS und R umgesetzt wurde, kann die Analyse von Steigungen im Straßenraum mit Geobasisdaten für gesamte Städte und Kreise flächendeckend durchgeführt werden. Anschließend ist eine zielgruppenspezifische Einteilung in Klassen möglich, um die Daten der Öffentlichkeit als Karte oder Dienst bereitzustellen. Im Hinblick auf den demographischen Wandel und die Veränderung des Bevölkerungsalters bietet dieses Werkzeug großes Potenzial, als direkte Hilfestellung für Menschen mit körperlichen Einschränkungen zur Sicherung der barrierefreien Mobilität zu dienen und eröffnet gleichzeitig für die nachhaltige Mobilitätsplanung eine Methodik zur Visualisierung der Potentiale für einen ausgewogenen Modal Split.

Keywords: Barrieren, Steigungen, Demographie, Mobilität, Kartographie

2 MOTIVATION

Der demographische Wandel hat in der heutigen Gesellschaft große Auswirkungen. Durch die Verlagerung der Altersstruktur in der Gesellschaft verändert sich das Grundbedürfnis der Mobilität. Die Nachfrage an barrierefreiem Straßenraum steigt gerade für ältere und mobilitätseingeschränkte Menschen immer weiter an. Der öffentliche Straßenraum weist vielseitige Hindernisse auf. Diese reichen von einem unebenen und unbefestigten Untergrund bis hin zu Behinderungen durch Verkehrsinfrastrukturen, wie schlecht platzierte Schilder, Durchgangssperren oder Treppen ohne Rampe. Neben den baulichen Einschränkungen lassen sich grundlegende Hindernisse oder Gegebenheiten auf Basis der Topographie feststellen, die eine Passierbarkeit unmöglich machen. In dieser Studie soll auf die vorhandenen Steigungen eingegangen werden, welche eine enorme Erschwernis darstellen. Bereits Steigungsveränderungen von über 3 % machen eine Route nur eingeschränkt oder gar nicht mehr nutzbar (DIN 18040-3). Bisher werden Barrieren im Straßenraum manuell und nur für ausgewählte Gebiete erfasst. Um Steigungen für die Verkehrsplanung effektiv nutzen zu können, müssen diese flächendeckend vorliegen. Aufbauend auf Arbeiten im Hochsauerlandkreis, NRW, (Götte, R., o.J.) wurde zu diesem Zweck ein Werkzeug entwickelt, mit dem eine flächendeckende Klassifizierung der Straßen anhand ihrer Steigungen vorgenommen werden kann. Die Ergebnisse werden im Anschluss in Form einer Karte oder Web-Anwendung Planern sowie Bürgern zur Verfügung gestellt.

3 DATENGRUNDLAGE

Um die Anwendung frei verfügbar und ausführbar zu gestalten, wurden als Datengrundlage die seit dem 01. Januar 2017 durch die „Open.NRW Strategie“ des Landes Nordrhein-Westfalen bereitgestellten Geobasisdaten eingesetzt (Bezirksregierung Köln, 2017a). Zum einen wurde das Digitale Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) genutzt, welches u.a. die Straßen sowie Brücken und Tunnel in topographischer Form beschreibt. Das Basis-DLM ist lagetreu und für eine Anwendung im Maßstab 1:10.000 erfasst (AdV, 2016). Als weiterer Eingangsdatsatz diente das Digitale Geländemodell mit einer räumlichen Auflösung von 1 m (DGM 1). Beide Datensätze sind flächendeckend frei über das Geoportal Open.NRW verfügbar (Bezirksregierung Köln, 2017a, 2017b). Für einen Praxistest der implementierten Anwendung wurde das Gebiet der Stadt Wetter (NRW) als Untersuchungsgebiet definiert.

4 AUFBEREITUNG DER AUSGANGSDATEN

Zur Nutzung der Ausgangsdaten mussten diese entsprechend aufbereitet werden. Die Geodaten des Basis-DLM liegen in einem Datensatz für das gesamte Bundesland vor. Dieser Datensatz besteht aus diversen Layern, in welchen einzelne oder mehrere Objektarten, wie z.B. Straßenachsen, mit ihren zugehörigen Attributen enthalten sind (vgl. Tabelle 1). Zur Reduzierung der Berechnungszeit wurde dieser Datensatz auf das zu untersuchende Gebiet zugeschnitten. Zum Verschneiden des Datensatzes wurden die Verwaltungsgebiete im Maßstab 1:250.000 verwendet. Diese werden von dem Dienstleistungszentrum des Bundes für Geoinformation und Geodäsie des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) bereitgestellt. Der Datensatz umfasst die Geometrien der Umringe der Verwaltungseinheiten (Kreise, Städte und Gemeinden) und ist ebenfalls über das Geoportal abrufbar (Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen, 2017).

Im zweiten Schritt wurden die in dem Datensatz enthaltenen Straßen, welche nicht für Fußgänger nutzbar sind, entfernt. Dazu wurde anhand des ATKIS-Objektartenkataloges (AdV, 2008) eine Aufteilung durchgeführt. Der Objektartenkatalog enthält Beschreibungen für alle in den Geodaten enthaltenen Objektarten. Anhand der Attributbezeichnung und der zugehörigen Werteschlüssel wurden Autobahnen sowie Wirtschaftswege (leicht- oder unbefestigte Wege) entfernt. Dadurch verblieben für die Analyse ausschließlich Straßen, die tendenziell für eine Nutzung durch Fußgänger und Rollstuhlfahrer vorgesehen sind (Tabelle 1). Anschließend wurden die beiden zu verwendenden Layer ver_011 und ver_021 zu einem Datensatz zusammengefasst.

Layer	Objektart	Kennung	Attributbezeichnung	Bezeichner	Wert
ver_011	AX_Strassenachse, AX_Fahrbahnachse	42003	Widmung (WDM)	Bundesstraße	1303
		42005		Landesstraße, Staatsstraße	1305
				Kreisstraße	1306
				Gemeindestraße	1307
ver_021	AX_Fahrwegachse, AX_WegPfadSteig	42008 53003	Funktion (FKT)	Hauptwirtschaftsweg	5211

Tabelle 1: Attributselektion des Basis-DLM Datensatzes

Eines der größten Probleme bei der Analyse von Steigungen bereiten Tunnel und Brücken. Diese sind nicht Teil des Digitalen Geländemodells, da dieses nur die Geländeoberfläche ohne bauliche Einrichtungen abbildet (Bezirksregierung Köln, 2017). Durch Vertiefungen, die durch Verkehrsbauwerke entstehen, werden hohe Gefälle, gefolgt von großen Steigungen berechnet. Aufgrund der Tatsache, dass diese Objekte ebenfalls im Basis-DLM im Layer ver06_1 flächendeckend erfasst sind, können sie automatisiert bei der Ermittlung der Steigungen berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 2). Dazu wurden alle Elemente (Features) der Objektart AX_BauwerkImVerkehrsbereich genutzt. Die Anzahl wurde erneut durch den Zuschnitt auf das Untersuchungsgebiet begrenzt.

Die Ausgangsdaten des Digitalen Geländemodells lagen im XYZ-Dateiformat vor. Die Geländehöhe wird dabei durch ein Koordinatentriplet aus X-, Y- und Z-Koordinate repräsentiert. Für die Analyse musste das Geländemodell jedoch als georeferenziertes Raster vorliegen. Dazu wurde ein zusätzliches Werkzeug

entwickelt, welches die Daten direkt in ein Raster überführt. Die Ausdehnung des DGMs wurde dabei zur Optimierung der Prozesslaufzeit so klein wie möglich gewählt.

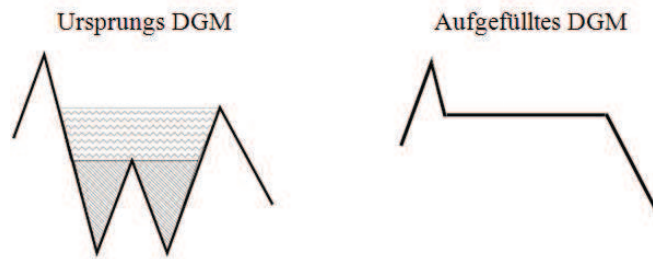


Abbildung 1: Schematische Darstellung zur Auffüllung von Artefakten in Digitalen Geländemodellen (Arge et al., 2003)

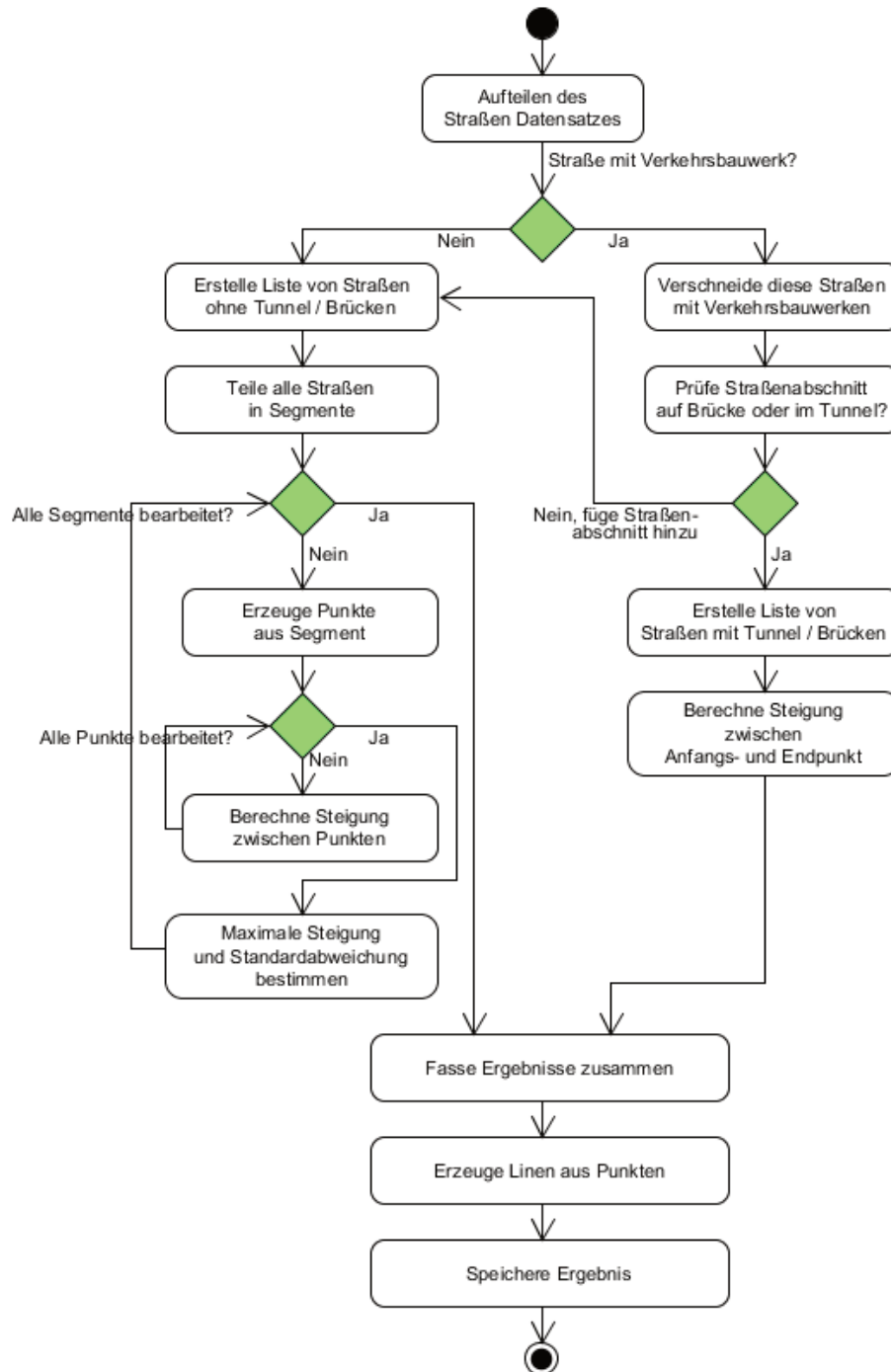


Abbildung 2: Aktivitätsdiagramm des Werkzeugs

Nachdem das DGM als Raster vorlag, konnte es von Datenartefakten, sogenannte Senken, bereinigt werden. Als Senken können Geländevertiefungen verstanden werden, die keinen dauerhaften oberirdischen Abfluss besitzen, da sie von höhergelegenen Gebieten umrundet sind. Sie sind oft bedingt durch Fehler im Geländemodell (Arge, 2003). Wie in Abbildung 1 dargestellt, wurden die vermeintlichen Senken bis zum Ausflusspunkt aufgefüllt. Dadurch ergaben sich bei der Berechnung der Steigungen keine Gegengefälle und somit keine Unstimmigkeiten bei der Richtung der Steigung.

5 TECHNISCHE UMSETZUNG

Entsprechend dem Ansatz der Nutzung öffentlich verfügbarer amtlicher Geodaten sowie der Umsetzung in freier Software, wurde die Implementierung in der Programmiersprache "R" durchgeführt. Mit R können Daten sowohl statistisch analysiert als auch graphisch dargestellt werden (Adler, 2010). Sie ist unter der General Public License (GPL) der Free Software Foundation veröffentlicht und daher frei verfügbar (R Foundation, o. J.). Außerdem bietet sie den Vorteil, dass die erstellten Skripte in verschiedene Geoinformationssysteme importiert werden können, wodurch eine hohe Flexibilität und ein großer Anwenderkreis erreicht wird.

Die Funktionsweise des entwickelten Werkzeugs lässt sich aus dem in Abbildung 2 dargestellten Aktivitätsdiagramm entnehmen. Dieses lässt sich funktional in sechs Arbeitsschritte unterteilen. Zunächst wird der Datensatz in Straßen mit und ohne Verkehrsbauwerke (Brücken, Tunnel) aufgeteilt (1). Anschließend werden die Straßen mit den Verkehrsbauwerken verschnitten und in zwei Datensätze aufgeteilt (2). Straßen, die keine Brücken und Tunnel kreuzen, werden in Segmente zerlegt (3). Zur Berechnung der Steigungen bzw. zur Ermittlung der maximalen Steigungen sowie der Standardabweichung werden entlang der Achse Punkte erzeugt, welche die Grundlage zur Berechnung darstellen (4). Schließlich werden die Steigungen der Straßen mit Verkehrsbauwerken aus den Start- und Endpunkten berechnet (5). Die Ergebnisse werden abschließend zusammengefasst und das Ergebnis gespeichert (6).

Das Ziel der Analyse ist die Darstellung der Steigungen in Prozent für kleinräumige Straßensegmente. Um dies zu erreichen werden die Straßen entlang ihrer Achse in einem definierten Abstand aufgeteilt. Diese Segmente bilden im Endergebnis die Darstellung der Straßen. Damit gibt der Abstand die räumliche Auflösung vor. Zur flexiblen Gestaltung der Analyse, kann die Länge der Segmente je nach Zielgruppe und -maßstab frei gewählt werden.

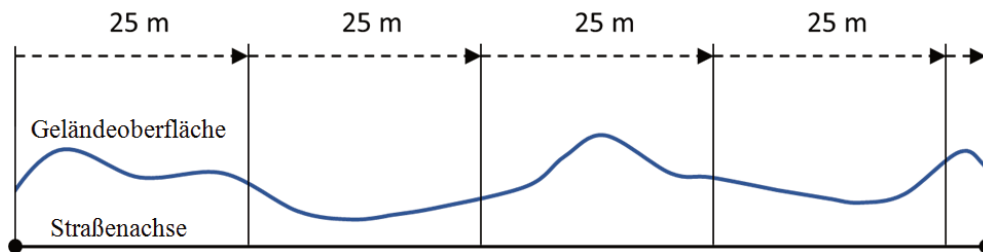


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Segmenterstellung mit 25 m Schrittweite

Je nach Zielgruppe und Anwendungsfall ist es ebenfalls sinnvoll, neben der durchschnittlichen Steigung die maximale Steigung sowie die Standardabweichung des Segments zu berechnen. Insbesondere für mobilitätseingeschränkte Personen sind selbst kurze und große Steigungen kaum zu bewältigen. Aus diesem Grund wird bei der Berechnung eine weitere Unterteilung der Segmente vorgenommen. Wie in Abbildung 3 dargestellt, werden die erzeugten Segmente erneut aufgeteilt und zwar mit einer Kantenlänge, die der Auflösung des Digitalen Geländemodells entspricht. Bei großen Segmentlängen (z.B. 100 Meter) werden Höheninformationen wie z.B. bei Kuppen und Senken ggf. nicht detektiert. Zwar erhöht sich dadurch die Laufzeit, allerdings wird die Streuung der Steigungen anhand der Standardabweichung wiedergegeben. Gerade in Hinblick auf Steigungskarten für gesamte Kreise und Städte mit großen Maßstäben kann dadurch die Güte der bestimmten Steigungen angegeben werden. Damit ist ein Trade-Off zwischen sehr großen Segmenten und der resultierenden Genauigkeit der Steigungen möglich.

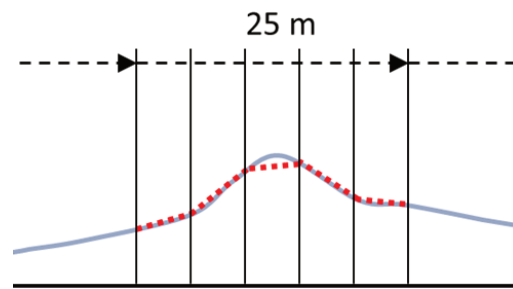


Abbildung 4: Schematische Darstellungen zur Berechnung der maximalen Steigung sowie deren Standardabweichung

Wie bereits beschrieben, stellen Brücken und Tunnel ein besonderes Problem dar. Ein Digitales Geländemodell beinhaltet, wie bereits erwähnt, die Topographie ohne bauliche Anlagen, wodurch große Abweichungen entstehen. Das in Abbildung 4 gezeigte Beispiel stellt eine Straße dar, die oberhalb einer Geländevertiefung verläuft. Da Verkehrsbauwerke ebenfalls flächendeckend im Basis-DLM enthalten sind, lassen sich diese Fehler automatisiert bereinigen.

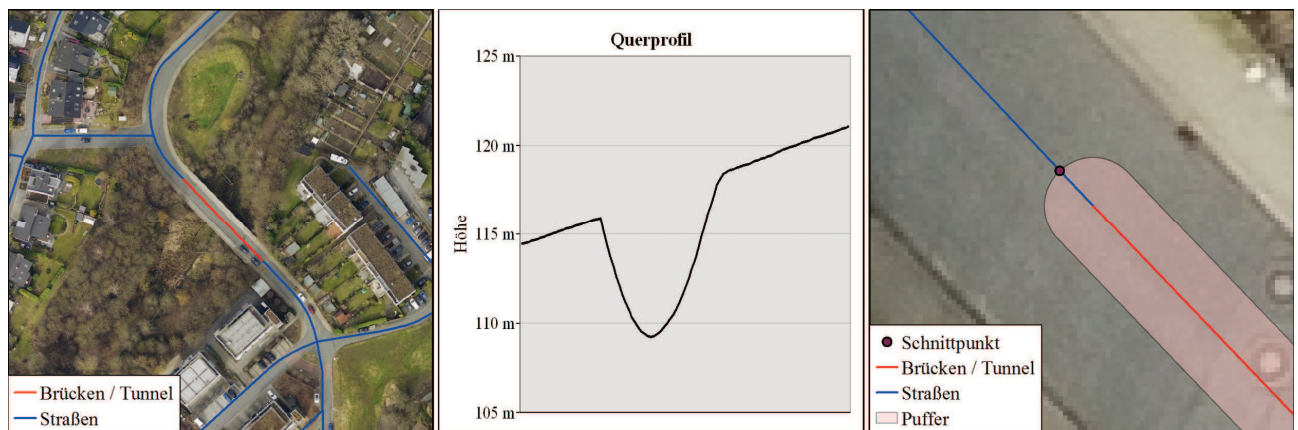


Abbildung 5: Brücken und Tunnel im Digitalen Geländemodell

Der Ausgangsdatensatz wird zuerst in Straßen ohne und mit Verkehrsbauwerke aufgeteilt (1). Im zweiten Schritt werden Brücken und Tunnel mit den jeweiligen Straßen verschnitten (2). Um sicherzustellen, dass keine kreuzenden Straßenabschnitte verschnitten werden, müssen diese die gleiche Liniengeometrie besitzen. Außerdem ist zu gewährleisten, dass die Höhen aus dem DGM zur Berechnung oberhalb der Vertiefung liegen (Abbildung 5, mitte). Es wird ein Sicherheitsbereich mithilfe eines Puffers mit einem Abstand von einem Meter um Brücken und Tunnel gebildet (Abbildung 5, rechts). Die Achse der Straße wird mit dem Puffer verschnitten, wodurch jeweils drei Teilstücke entstehen. Die vor und hinter dem Bauwerk liegenden Straßenachsen werden zum Datensatz der Straßen ohne Verkehrsbauwerke hinzugefügt. Im Anschluss (3) werden diese Straßen in Segmente aufgeteilt und die Steigungen sowie die Standardabweichung berechnet. Zum Segmentieren der Straßen werden entlang der Achse Punkte mit dem vorab definierten Abstand erzeugt (4). Beim Erzeugen der letzten Punkte pro Segment ergeben sich zwei mögliche Konstellationen, die es zu berücksichtigen gilt. Zum einen kann die Länge der gesamten Straße kleiner sein als der definierte Abstand. Dann wird ein Segment aus dem Start und Endpunkt erzeugt. Zum anderen, kann der Abstand zwischen dem letzten und vorletzten Punkt kleiner sein als die Kachelgröße des DGMs. In diesem Fall wird der vorletzte Punkt entfernt und das Segment vergrößert sich bis zur Länge der Rasterzelle.

Die Steigung in Prozent ergibt sich aus der horizontalen Entfernung zwischen zwei Punkten P_i und P_{i-1} sowie deren Höhendifferenz.

$$\text{Steigung} = \frac{\sqrt{(X_{P_i} - X_{P_{i-1}})^2 + (Y_{P_i} - Y_{P_{i-1}})^2}}{Z_{P_i} - Z_{P_{i-1}}} * 100 = \frac{\Delta x}{\Delta z} * 100 \quad \text{mit} \quad i = 1, \dots, n$$

Die Parameter X und Y lassen sich aus den erstellten Punkten auslesen. Zur Bestimmung der Höheninformationen werden über die Koordinaten (X und Y) der Punkte die Zellwerte aus dem DGM automatisch abgegriffen. Dies wird für alle n Punkte auf einem Segment durchgeführt. Die Steigung pro Liniensegment ergibt sich schlussendlich aus dem arithmetischen Mittel der Teilsteigungen. Zusätzlich wird

aus den Steigungen die Standardabweichung σ berechnet. Diese ergibt sich aus der Wurzel des gemittelten Fehlerquadrats.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Außerdem wird die maximale Steigung gespeichert. Anschließend werden die Steigungen der Straßenabschnitte, die auf einer Brücke bzw. in einen Tunnel liegen, zwischen dem jeweiligen Anfangspunkt und Endpunkt berechnet (5). Eine Unterteilung in Segmente sowie die Berechnung der maximalen Steigung und Standardabweichung wird nicht vorgenommen.

Zusätzlich zum Steigungswert wird die Steigungsrichtung bestimmt. Diese lässt sich aus dem Vorzeichen der durchschnittlichen Steigung ableiten. Bei einer negativen Steigung liegt ein Gefälle vor. Zur Visualisierung der Richtungen wurden Richtungspfeile kleiner (<), größer (>) und Gleichheitszeichen (=) eingesetzt. Über die Linienbeschriftung im Geoinformationssystem lassen sich diese darstellen. Um einen Rückschluss der Liniensegmente auf die Ursprungslinie zu erhalten, wird eine fortlaufende "LineOID" vergeben.

Abschließend werden aus den erzeugten Punkten wieder Linien erzeugt und die durchschnittliche und maximale Steigung sowie die Standardabweichung und Steigungsrichtung zugewiesen. Dabei werden die beiden Datensätze zusammengefasst (6) und im Shape-Format gespeichert. Dieser Datensatz kann in einem Geoinformationssystem eingeladen, die Steigung in Klassen eingeteilt und die Richtungen als Linienbeschriftungen eingestellt werden.

In einer Fallstudie wurde das vorgestellte Werkzeug für den Innenstadtbereich der Stadt Wetter mit einer Segmentlänge von 10 Metern ausgeführt. Abbildung 6 stellt das Ergebnis dieser Berechnungen dar.

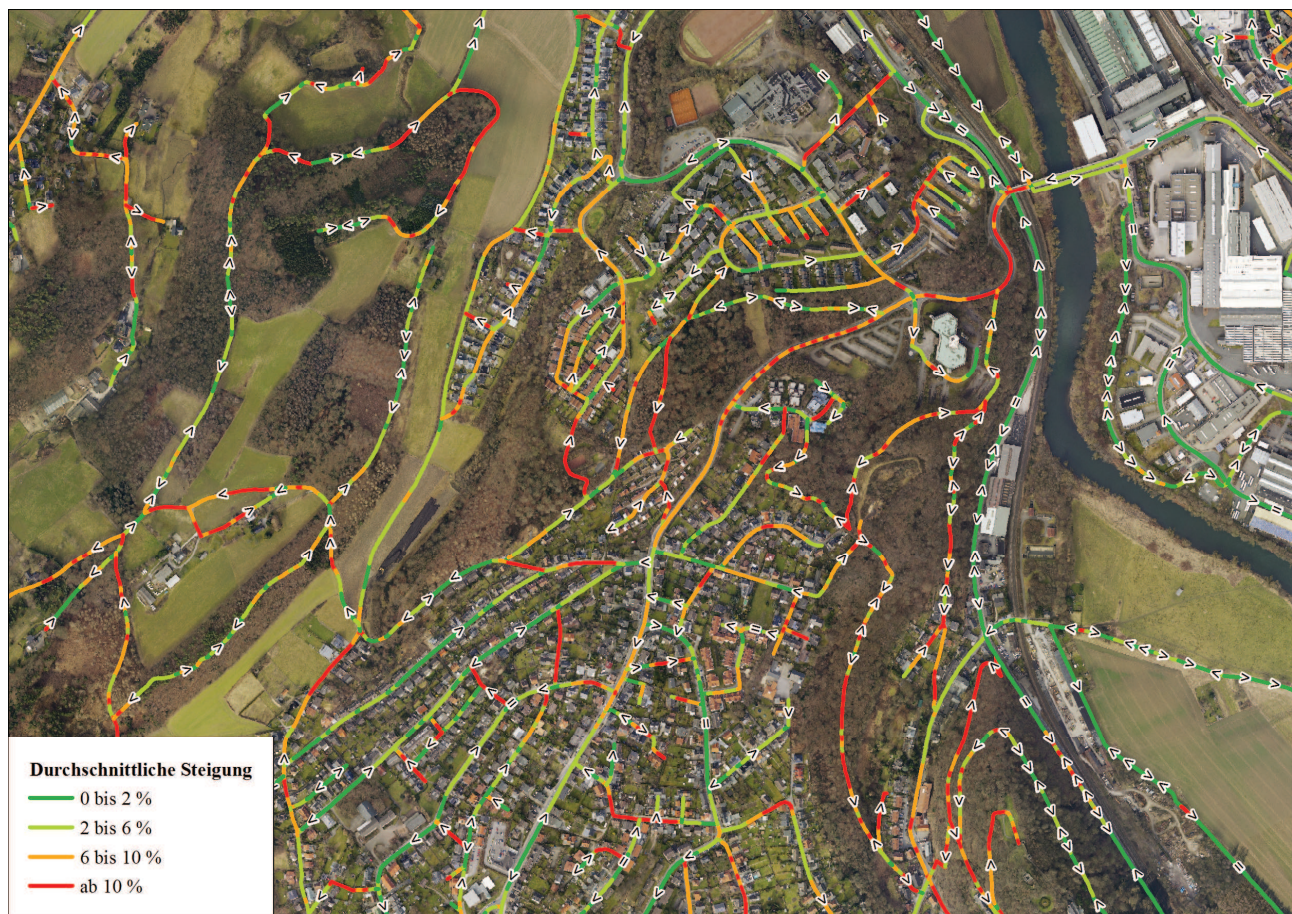


Abbildung 6: Ergebnis Steigungskarte mit einer Segmentlänge von 10 Metern

6 INTEGRATION IN QGIS

Nach der Implementierung wurde das R-Skript nach Vorgaben des freien Geoinformationssystems QGIS (2017) angepasst, damit es als Werkzeug namens GradientMap eingebunden werden konnte. Das Werkzeug lässt sich über eine benutzerfreundliche graphische Oberfläche aufrufen und nutzen. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit, die in Kapitel 4 beschriebenen nötigen kartographischen Aufbereitungen mit der Software umzusetzen. Dadurch wird es zu einem vollständigen Werkzeug zur Erstellung einer Steigungskarte. In Abbildung 7 ist die Oberfläche der Anwendung GradientMap abgebildet. Als Eingangsparameter werden das Digitale Geländemodell, Straßen sowie Brücken und Tunnel erwartet. Als Segmentlänge wird ein Standardwert von 25 Metern verwendet, der jedoch je nach Zielgruppe und Fragestellung beliebig verändert werden kann.

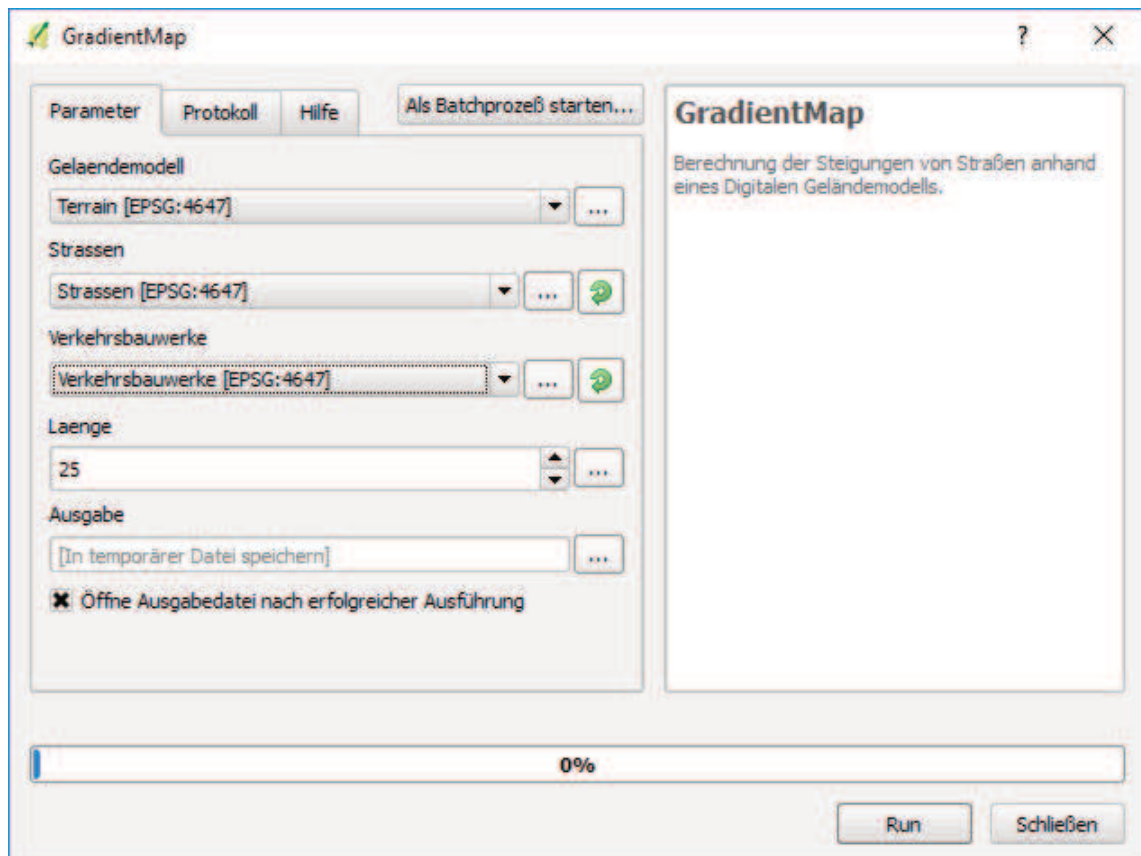


Abbildung 7: Benutzeroberfläche Tool GradientMap

7 ERGEBNIS

Wie in Abbildung 5 bereits dargestellt, lassen sich aus dem Ergebnis Karten erzeugen, mit dessen Hilfe mobilitätseingeschränkte Menschen einen guten Überblick über die Steigungen auf ihrer geplanten Route erhalten können. Es wird deutlich, dass selbst in dem kleinen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes der Stadt Wetter sehr viele Straßen nicht passierbar sind. Betrachtet man das Digitale Geländemodell losgelöst von Straßen und Wegen, ergibt sich ein ähnliches Bild. In diesem Fall kann eine maximale Höhendifferenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Punkt von 195 Meter abgeleitet werden. Somit stellt das Stadtgebiet von Wetter mit seiner ausgeprägten Topographie ein gutes Untersuchungsgebiet für eine Fallstudie des entwickelten Werkzeugs dar.

Die Klassifikation der Steigungen wurde in Anlehnung an die DIN 18040-3 für Rollstuhlfahrer (6 %) und die Schwierigkeitswerte des Allgemeinen Deutschen Fahrrad-Club eV (ADFC, o. J.) für Radfahrer (10 %) durchgeführt. Bei einer Segmentlänge von 10 m ergibt sich bspw., dass 235 der insgesamt 32.857 Straßensegmente eine Steigung von über 25 % aufweisen (Tabelle 2). Diese sollten im Nachgang einzeln kritisch geprüft werden. Insgesamt lässt sich aus den Ergebnissen in Tabelle 2 ableiten, dass plausible Steigungswerte zugewiesen wurden. Allerdings fallen bei der Standardabweichung große Abweichungen auf. Diese gibt die Güte der berechneten Steigung wieder. Hierbei wird deutlich, dass die Abweichungen innerhalb der Segmente schon bei einer Länge von zehn Metern sehr hoch sind. Mehr als ein Viertel der

Segmente weisen eine Standardabweichung größer als 6 Prozent auf. Die entsprechenden Straßen sollten im Gelände überprüft und ggf. mit einer kleineren Segmentlänge durchgerechnet werden.

Klasse	Steigung		Standardabweichung	
	Anzahl	Anteil in Prozent	Anzahl	Anteil in Prozent
0 bis 2 %	10117	30,8 %	8597	26,2 %
2 bis 6 %	10926	33,3 %	14607	44,4 %
6 bis 10 %	6439	19,6 %	4270	13,0 %
10 bis 25 %	5140	15,6 %	4505	13,7 %
Ab 25 %	235	0,0 %	878	2,7 %
Summe	32857	100,0 %	32857	100,0 %

Tabelle 2: Elemente pro Klasse

Abschließend lässt sich sagen, dass das entwickelte Werkzeug mit frei verfügbaren und amtlichen Daten flächendeckende Ergebnisse liefert. Diese sollten hinsichtlich der Plausibilität geprüft werden. Eine Validierung im Feld hat für die Fallstudie in Wetter bisher nur für vereinzelte Straßenzüge stattgefunden. Durch die Angabe der Standardabweichung ist eine Aussage über die erreichte Genauigkeit möglich. Dies kann ebenfalls Hinweise darüber geben, ob die gewählte Auflösung der Eingangsdaten für das Untersuchungsgebiet ausreichend ist.

8 AUSBLICK

Aus Sicht der Bürger kann eine Steigungskarte zu einem hohen Maße zur Verbesserung der Mobilität beitragen. Bei der Weiterentwicklung und Verwendung des Werkzeugs sind aktuell einige Ansätze vorstellbar. Zum einen sollte über die Darstellung und Präsentation der Karte entweder als Print oder Web-Anwendung nachgedacht werden. Dazu sind verschiedene Detailierungsstufen mit entsprechenden Segmentlängen abzuwägen. Dabei gilt es auch für jeden Anwendungsfall zu prüfen, welche Steigung (durchschnittlich oder maximal) publiziert werden sollte.

Bisher erfolgt die Berechnung statisch, da nur eine Segmentlänge angegeben werden kann. Für eine Weiterentwicklung könnte es interessant sein, einen iterativen Ansatz zu wählen. Damit kann von einer sehr großen Segmentlänge bis hin zu einer sehr feinen Auflösung eine Karte erstellt werden, bei der die Standardabweichung als Kriterium für die Auflösung genutzt werden kann.

Die ermittelten Steigungen lassen sich auch im Hinblick auf eine nachhaltige Stadtplanung nutzen. So besteht die Möglichkeit hohe Steigungen für mobilitätseingeschränkte Personen als Hindernisse einzustufen und eine entsprechende Alternative anzubieten, wie z.B. den Ausbau des ÖPNVs an den betroffenen Stellen. Zusätzlich zu den objektiven Vorgaben durch einschlägige Normen, könnte das Ausmaß der Einschränkung durch Steigungen durch Emotionskartierungen abgeschätzt werden (vgl. Bergner et al., 2011). Außerdem kann eine Planung des Ausbaus der barrierefreien Straßenraumgestaltung, durch Fokussierung auf Wege mit geringen Steigungen, effizient gestaltet werden. Darüber hinaus kann die Steigungskarte zur barrierefreien Routenplanung, wie bspw. OpenRouteService (Müller et al., 2010) oder eNav (Džafić et al. 2016a, 2016b) genutzt werden. Letzteres berücksichtigt bereits Steigungsinformationen, zu denen der hier beschriebene Workflow eine präzisere Ergänzung darstellen kann. Eine kombinierte Nutzung mit Crowdsourcing-Daten von bspw. Wheelmap.org oder OpenStreetMap könnten weitere wichtige Erkenntnisse ermöglichen. Außerdem könnten die erzeugten Daten für weitere Gruppen (z.B. Radfahrer) von Interesse sein.

9 REFERENZEN

- Adler, J. (2010). R in a Nutshell. Beijing: O'Reilly.
- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) (2008): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/ATKIS-OK%20Basis-DLM%206_0.pdf
- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) (2016): Produktblatt Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM). <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Standards-und-Produktblaetter/Produktblaetter/>
- Arge, L., et al. (2003): Flow Computation and Massive Grids, Duke University, Durham https://www.cs.duke.edu/geo*/terraflow/papers/acmgis01_terraflow.pdf
- Bergner, Benjamin; Zeile, Peter; Papastefanou, Georgios; Rech, Werner (2011): Emotionales Barriere-GIS als neues Instrument zur Identifikation und Optimierung stadträumlicher Barrieren. In *Angewandte Geoinformatik*, pp. 430–439.
- Bezirksregierung Köln (2017): Basis-DLM. Abgerufen am: 09.06.2017 von http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/landschaftsmodelle/basis_dlm/index.html

- Bezirksregierung Köln (2017): Digitale Geländemodelle (DGM). Abgerufen am: 09.06.2017 von http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/hoeihenmodelle/gelaendemodelle/index.html
- DIN 18040-3: 2014-12 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 3: Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum
- Džafić, Dženan; Klein-Ridder, Daniel; Schoonbrood, Pierre; Franke, Dominik; Kowalewski, Stefan (2016a): Der Bodenbelag-Detektor des eNav-Systems. In AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 2-2016 2, pp. 318–327.
- Džafić, Dženan; Lahr, Florian; Schoonbrood, Pierre; Franke, Dominik; Kowawelewski, Stefan (2016b): Das Barrierenerkennungssystem von eNav. In AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 2-2016 2, pp. 298–397.
- Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen (2017a): Open Data. <https://open.nrw>
- Ministerium für Inneres und Kommunales des Landes Nordrhein-Westfalen (2017b): Bund: Verwaltungsgebiete 1:250 000 - Stand 31.12. <https://open.nrw/de/dataset/431406f6-1b31-48a9-b6db-dc4b38caf5eabkg>
- Götte, R. (o. J.) Steigungskarte für den Hochsauerlandkreis. Abgerufen am: 17.07.2017 von http://www.hochsauerlandkreis.de/buergerservice/bauen_wohnen_kataster/geo_service/open/117180100000068733.php
- Müller, Astrid; Neis, Pascal; Zipf, A. (2010): Ein Routenplaner für Rollstuhlfahrer auf der Basis von OpenStreetMap-Daten. In Konzeption, Realisierung und Perspektive AGIT 2010
- QGIS (2017): 17.31. Use R scripts in Processing. Abgerufen am 09.06.2017. http://docs.qgis.org/2.14/de/docs/training_manual/processing/r_intro.html
- R Foundation. (o. J.). The R Project for Statistical Computing. Abgerufen am 10.06.2017 von <https://www.r-project.org/>