



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

**„Identifizierung barrierearmer Wanderwege
für Personen mit Mobilitätseinschränkungen am Beispiel des
Wanderwegenetz von Detmold“**

vorgelegt von

René Heistermann
1654596, UNIGIS MSc – Jahrgang 2017

Betreuerin:
Dr. Sabine Hennig (Z_GIS)

Zur Erlangung des Grades
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc (GIS)“

Detmold, 24. Juni 2020

Danksagung

Ohne die Unterstützung zahlreicher Menschen wäre diese Masterthesis nicht möglich gewesen, ihnen gebührt mein tiefster Dank.

Dr. Sabine Hennig, vielen Dank für die Betreuung und Durchsicht der Masterthesis. Vielen Dank für Ihre Kommentare, Ideen und Ihre Geduld.

Das Team vom Z_GIS, insbesondere Julia Moser, Assoc. Prof. Dr. Gudrun Wallentin und Prof. Dr. Josef Strobl für die Organisation des Studiengangs, die Unterstützung und das Vertrauen in mich und meiner Sonderzulassung während des Masterstudiums.

Den Kollegen des Fachbereiches 6 – Geoinformation, Kataster und Immobilienbewertung des Kreis Lippe bin ich auch ein großes Dankeschön schuldig. Danke für die unkomplizierte Arbeitszeitregelung und das großzügige Gewähren von Urlaubstagen. Herr Schröder und Herr Dr. Ostrau – Ihnen vielen Dank, dass Sie meine Entscheidung für das Studium mitgetragen haben und mir die benötigten Datensätze und Materialien für diese Arbeit zur Verfügung gestellt haben.

Meine Eltern haben auch einen großen Anteil am Gelingen dieses Studium und dieser Masterthesis: Ihr habt mir immer den Rücken freigehalten und mir zugehört mit meinen Sorgen und Problemen. Danke für euer Verständnis, dass ich nicht immer Zeit für euch hatte.

Ein ganz großes, wenn nicht sogar das größte Dankeschön, gilt meiner Lebenspartnerin Sophie: Ohne ihren Rückhalt, ihre immerwährende Unterstützung und ihre famosen Kochkünste würde diese Arbeit nicht existieren. Danke, dass du an meiner Seite stehst und mich fortwährend motivierst und ermutigst. Danke für dein Korrekturlesen und deinen akademischen Beistand.

Oma und Opa, vielen Dank für eure Unterstützung – ohne euch hätte es dieses Studium nicht gegeben!

Für Oma und Opa Jerxen

Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, dass diese vorliegende Masterthesis ohne fremde Hilfe und selbstständig verfasst wurde. In der Bearbeitung und Abfassung wurden keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet. Alle wörtlichen und sinngemäßen Zitate wurden als solche gekennzeichnet und sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Diese vorliegende Masterthesis wurde noch nicht veröffentlicht und für Prüfungszwecke vorgelegt.

Ort, Datum

René Heistermann

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	2
Eidesstattliche Versicherung	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis/Glossar	7
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	10
Kurzfassung	12
Abstract	13
1 Einleitung	14
1.1 Problemstellung und Relevanz des Themas	14
1.2 Literaturüberblick	16
1.3 Zielsetzung und forschungsleitende Frage	18
1.4 Begrifflichkeiten und Definitionen	20
1.4.1 Wanderwegenetz	20
1.4.2 Wanderwege	20
1.4.3 Wegesegment/Wegeabschnitt	21
1.4.4 Linien-Features	21
1.5 Vorstellung des Untersuchungsgebiet	22
1.5.1 Allgemeines und räumliches Profil des Untersuchungsgebiet	22
1.5.2 Wanderinventar des Untersuchungsgebiet	25
1.5.3 Statistiken zu Demographie und Behinderung in der Stadt Detmold	26
1.5.4 Lokale Initiativen zur Barrierefreiheit	28
2 Methodik	29
2.1 Methodik im Überblick	29
2.2 Verwendete Daten und Geodatenätze	29
2.2.1 Allgemeines zu amtlichen Geodatenätzen	29

2.2.2	Basis DLM-----	30
2.2.3	Digitale Höhenmodelle -----	31
2.2.4	Digitale Orthophotos (WMS)-----	32
2.2.5	Wanderwegeinventar -----	32
2.3	Anforderungen an die barrierefreie Gestaltung von Wanderwegen -----	33
2.3.1	Klassifizierung der Wegebeschaffenheitstypen nach Kriterien des DWV -----	33
2.3.2	Anforderungen an barrierefreie Wanderwege -----	35
2.4	GIS-technische Umsetzung der Barrierefreiheitsanalytik-----	37
3	Ergebnisse -----	40
4	Diskussion -----	47
4.1	Barrierefreie und nicht Barrierefreie Wanderwege -----	48
4.2	Einordnung der Ergebnisse im Kontext der Literatur -----	49
4.3	Betrachtung potentieller Fehlerquellen der räumlichen Analyse -----	50
4.4	Nicht untersuchte Barrierefreiheitselemente -----	53
4.5	Ergebnisse im Kontext der Forschungsfrage -----	53
5	Zusammenfassung -----	54
5.1	Zusammenfassung zur Untersuchung der Barrierefreiheit-----	54
5.2	Allgemeine Einordnung der Forschungsfrage und Ausblick-----	55
6	Literaturverzeichnis-----	56
7	Anhang -----	60
7.1	Anhang 1: Tabellarischer Auszug der Inhalte des BasisDLM -----	60
7.2	Anhang 2: Tabellarischer Auszug aus der XYZ-Punktdatenbeschreibung -----	62
7.3	Anhang 3: Attributierung der Wege / Codierung der Wegeeigenschaften -----	63
7.4	Anhang 4: Anforderungen an barrierefreie Wanderwege-----	64
7.5	Anhang 5: Schema des Analyseworkflow -----	66
7.6	Anhang 6: Tabellarische Auflistung der Ergebnisse -----	67

Abkürzungsverzeichnis/Glossar

Abkürzung	Langform/Erklärung
AAA-Schema	AFIS-ALKIS-ATKIS-Anwendungsschema der AdV
ABK	Amtliche Basiskarte in Nordrhein-Westfalen – Amtliches topographisches Kartenwerk, Nachfolger der Deutschen Grundkarte (DGK)
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATKIS	Amtliches Topographisches Informationssystem
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CIR	Color Infrared, eingefärbter Infrarot-Kanal als Falschfarbenbild
DGM	Digitales Geländemodell
DIN	freiwilliger Standard des Deutschen Institut für Normung
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DOP	Digitales Orthophoto
DWV	Deutscher Wanderverband
EFRE	Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung
EPSG	European Petroleum Survey Group: Codierte Benennung von Raumbezugssystemen
ETL-Engine	Extract, Transform and Load - Bezeichnung von Datenprozessierungs- oder homogenisierungsalgorithmen
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
ETRS89/UTM	Amtlicher geodätischer Raumbezug, wird u.a. in Nordrhein-Westfalen verwendet (EPSG: 25832)
GDI	Geodateninfrastruktur
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning Service, US-amerikanisches Satellitengeodätisches System zur Positionsbestimmung im Raum, oftmals synonym für GNSS
GSD	Ground Sampling Distance, Bodenauflösung eines Orthophotos - wird in cm pro Pixel angegeben
IDW	Inverse Distance Weighting - Interpolationsmethode für Rasteroberflächen
IMU	Inertial measurement unit
LAS	LAS(er) File Format - Dateiformat zur Speicherung von digitalen Punktwolken
LiDAR	Light Detecting and Ranging
NAS	Normbasierte Austausch Schnittstelle
NIR	Near-Infrared-Range, Nahbereichsinfrarot-Kanal
RGB	Rot, Grün und Blau, wird als Bezeichnung für das RGB-Farbspektrum verwendet
SHP	Shapefile, Dateiformat für die Speicherung von Geodaten im Vektorformat
TIN	Triangular Irregular Network, Unregelmäßige Dreiecksvermaschung
UTM	Universale, transversale Mercatorprojektion
VGI	Volunteered Geographic Information
WMS	Web Map Service – OGC Standard zum Darstellen von Geodaten über das Internet
XYZ	ASCII-Textbasiertes Dateiformat zur Speicherung von digitalen Höhenmodellen

Abkürzungen zitierter Gesetzestexte

Abkürzung	Langform/Erklärung
AGG	Allgemeines Gleichbehandlungsgesetz
BGG	Gesetz zur Gleichstellung von Menschen mit Behinderungen
CRPD	Convention on the Rights of People with Disabilities (siehe auch UN-BRK)
GG	Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland
SGB IX	Sozialgesetzbuch Neuntes Buch – Rehabilitation und Teilhabe von Menschen mit Behinderungen
UN-BRK	Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen (siehe auch CRPD)
VermKatG NRW	Gesetz über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster Nordrhein-Westfalen

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Beispiele für Segmentation von Wanderwegen: linke Bildhälfte: Segmentation zwischen Wegegabelungen (in grün), rechte Bildhälfte: regelmäßige Segmentation anhand definierter Streckenlängen	21
Abb.2: Lage des Untersuchungsgebietes im regionalen und im bundesweiten Kontext. Die äußere Begrenzung des Gebietes ist durch die dicke, schwarze Linie dargestellt. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	22
Abb.3: Flächen der tatsächlichen Nutzungsarten gemäß Basis-DLM/ATKIS im Stadtgebiet Detmold. Siedlungsflächen werden in Beige, Waldflächen in Grün und Landwirtschaftsflächen in Braun dargestellt. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)	24
Abb.4: Darstellung des Höhenreliefs im Detmolder Stadtgebiet als Kombination aus farbcodierter Rasterdarstellung des Höhenmodells und einer Kombinationsschummerung. Der Bielstein als höchste Erhebung des Stadtgebietes ist in der Karte farblich markiert. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	25
Abb.5: Wanderwegenetz im Stadtgebiet Detmold. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	26
Abb.6: Unterschied zwischen Digitalen Oberflächenmodellen (Digital Surface Model) und Digitalen Geländemodellen (Digital Terrain Model), Abbildung aus ASHARYANTO et al. (2015)	32
Abb.7: Schema der Dissolve-Bearbeitung zur Ermittlung der längsten Einzelsegmente.....	39
Abb.8: Lage der einzelnen Wegebeschaffenheitstypen im Untersuchungsgebiet: Belagstyp 0 - Nicht erfasst, Belagstyp 1- Naturnaher Wegebelag, Belagstyp 2 - Befestigter Wegebelag, Belagstyp 3 - schlecht begehbarer Wege, Belagstyp 4 – Verbunddecken. Der Verlauf der Wege wird mit blauen Linien dargestellt.....	40
Abb.9: Darstellung der räumlichen Lage und Verteilung der Neigungsklassen auf den Wanderwegen mittels blauer Linien. Neigung 0-3 umfasst die Neigungsklasse 0-3%, Neigung 3-6 entspricht der Klasse 3-6%, Neigung 6-9 entspricht der Klasse 6-9% und Neigung >9 der Klasse >9%.....	41
Abb.10: Alle Wege, deren Merkmalskombination aus Wegebeschaffenheit und Neigung eine Einstufung als Barrierefrei nach Tab.6 erlauben. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	43
Abb.11: Alle Wege, deren Merkmalskombination aus Wegebeschaffenheit und Neigung keine Einstufung als Barrierefrei nach Tab.6 erlauben. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	43

Abb.12: Dichteverteilung bzw. Clusterung nicht erfasster Wanderwege, grüne Flächen haben eine geringere Dichte, rote Flächen haben eine hohe Dichte an nicht erfassten Wanderwegen. Diese sind zusätzlich mit einer breiteren Linie hervorgehoben. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	45
Abb.13: Dichteverteilung bzw. Clusterung Barrierefreier Wanderwege, grüne Flächen haben eine geringere Dichte, rote Flächen haben eine hohe Dichte an Barrierefreien Wanderwegen. Diese sind zusätzlich mit einer breiteren Linie hervorgehoben. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	45
Abb.14: Dichteverteilung bzw. Clusterung nicht Barrierefreier Wanderwege, grüne Flächen haben eine geringere Dichte, rote Flächen haben eine hohe Dichte an nicht Barrierefreien Wanderwegen. Diese sind zusätzlich mit einer breiteren Linie hervorgehoben. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	46
Abb.15: Längste, zusammenhängende Wegesegmente ohne Wechsel der Einteilung in Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020).....	47
Abb.16: Schematische Darstellung der 10m Segmentierung inkl. Relief im Profil.....	52
Anhang Abb.17: schematische Darstellung des Analyseworkflows, der Ablauf erfolgt von oben nach unten. Gelb hinterlegte Kacheln stellen schematisch die verwendeten Datensätze dar. Blaue Kacheln veranschaulichen die verwendeten GIS-Werkzeuge, teilweise in ihrer Englischen Originalbezeichnung. Grüne Kacheln repräsentieren in dem Flussdiagramm die Resultate und gegebenenfalls deren Weiterverwendung.	66
Anhang Abb.18: Ausschnitt des Wanderwegenetz südlich des Hermannsdenkmal, Wegeführung in Blau und TIN mit farbcodierter Neigungsdarstellung. Hohe Neigungen (>9%) in rot, flache Neigungen in grün und orange (0% - <9%)	71
Anhang Abb.19: Verlauf des Wanderweges abseits einer Straße und damit abseits flacher, womöglich barrierefreier Wanderwege	72

Tabellenverzeichnis

Tab.1: Übersicht über nationale und internationale Richtlinien und Gesetze zur Gleichstellung von Menschen mit Behinderung, aufgeschlüsselt nach institutioneller und geopolitischer Ebene. Modifiziert nach HENNIG (2017)	15
Tab.2: Kommunalprofil der Stadt Detmold und des Kreis Lippe im Vergleich, modifiziert nach IT.NRW Landesdatenbank.....	23
Tab.3: Statistik der Schwerbehinderten Menschen nach Art der Behinderung im kommunalen Vergleich, modifiziert aus (IT.NRW 2017A, B).....	27
Tab.4: Wegebeschaffenheitstypen in Qualitätswanderwegen und deren Ansprache, aus Schulungsunterlagen für Wegekartierungen, modifiziert nach NATURPARK TEUTOBURGER WALD/EGGEBIRGE (2015).....	34
Tab.5: Anforderungskatalog an Wegebeschaffenheiten: Ergebnisse der Literaturrecherche aus DIN 18024-1 (1998), MATTHEWS et al. (2003), BEALE et al. (2006), HEIDEN et al. (2010), DIN 18040-3 (2014), JANECKO et al. (2016), HENNIG (2017).....	35

Tab.6: Matrix zur Bewertung der Barrierefreiheit von Wanderwegen, in Abhängigkeit von Wegebeschaffenheitstyp und Neigungsklasse.....	37
Tab.7: Ermittelte Streckenlängen sowie deren prozentualen Anteilen (<i>in kursiv</i>) an der Gesamtweglänge in Abhängigkeit von Wegebeschaffenheitstyp und Neigungsklasse, farblich codiert nach Barrierefrei(grün), nicht Barrierefrei (rot) sowie nicht erfassbare Bewertung (blau).	42
Anhang Tab.1 Inhalte des BasisDLM (auszugsweise), ohne Angaben der Objektartennummer	60
Anhang Tab.2 Produkte und Punkttypen (Punkttypenkürzel fett markiert), nach Geobasis.NRW DGM Nutzerinfo abgeleitet	62
Anhang Tab.3 Attributierung der Wanderwege-Shape-Datei	63
Anhang Tab. 4 Attributwerte für Wegebeschaffenheit	63
Anhang Tab.5 Auszüge aus dem Forderungskatalog „Mindestanforderungen zum barrierefreien Naturerleben“ an barrierefreie Wanderwege, (HEIDEN et al. 2010), Baustein 5, Modul 3.	64
Anhang Tab.6 Bodenarten und Oberflächenbeschaffenheiten nach DIN 18024-1/Nullbarriere.de (HOPF).....	65
Anhang Tab.7 Streckenlängen nach Wegebeschaffenheitsklassifikation, deren räumliche Lage und deren Anteil an der Gesamtweglänge	67
Anhang Tab.8 Streckenlängen nach Neigungsklassifizierung, deren räumliche Lage und deren Anteil an der Gesamtweglänge	69
Anhang Tab.9 Kombination der Merkmale Wegebeschaffenheit und Geländeneigung, die jeweiligen Streckenlängen und deren Anteile an der Gesamtstrecke	70

Kurzfassung

Wandern ist eine durch alle Bevölkerungsschichten verbreitete Form der Freizeitgestaltung und sollte demzufolge auch allen Menschen möglich sein, ungeachtet der individuellen körperlichen Voraussetzungen. In diesem Zusammenhang wurde die Fragestellung erarbeitet, ob mittels Geoinformationen ausgewählte Barrieren im Wanderumfeld beschrieben und detektiert werden können, am Beispiel des Wanderwegenetzes der Stadt Detmold. Der Fokus wurde dabei auf räumlich mess- und beschreibbare Barrieren gelegt, insbesondere Geländeneigung und Wegebeschaffenheit. Die Geländeneigung wurde aus XYZ-Höhendaten des Landes Nordrhein-Westfalen abgeleitet und aufbereitet. Die Wegebeschaffenheit auf den bereits vorhandenen Wanderwegedaten wurde geographisch aufbereitet. Für die Bewertung der Wegebeschaffenheit hinsichtlich ihrer Barrierefreiheit wurden die erfassten Kriterien mit in Literatur erwähnten Wegebeschaffenheiten korreliert. Die Neigungsobergrenzen wurden zudem aus der Literatur entnommen. Anschließend wurden Neigungsbereiche, Wegebeschaffenheiten sowie deren Kombinationen ermittelt, welche nach Wegelängen sowie deren prozentualen Anteilen ausgewertet wurden. Aus der Kombination von Wegebeschaffenheiten und Neigungsobergrenzen wurde eine Kreuztabelle entworfen, in welcher die Wegebeschaffenheiten gegen Neigungswerte aufgetragen und die resultierenden Kombinationen aus Wegebeschaffenheit und Neigung in „Barrierefrei“ und „nicht Barrierefrei“ eingeteilt wurden. Nach erfolgter Einteilung konnten diese statistisch ausgewertet werden. 28% der Wanderwege wurden als potentiell Barrierefrei und 42% der Wanderwege wurden als potentiell nicht barrierefrei eingeordnet. Die verbliebenen 30% sind nicht erfassbare Wege, deren Wegebeschaffenheitsszustand nicht erfasst worden ist. Die Ergebnisse wurden kartographisch aufbereitet und mittels Line Density auf ihre räumliche Verteilung und Clusterbildung untersucht. Barrierefreie Wanderwege bilden vermehrt in urbanen Gebieten Cluster, während nicht Barrierefreie Wanderwege Clusterbildung in ruralen Gebieten aufweisen. Dieser Methode eignet sich daher um Wanderwege auf ihre Barrierefreiheit zu prüfen.

Stichwörter: GIS, Barrierefreiheit, Wandern, Wegebeschaffenheit, Geländeneigung, DGM

Abstract

Hiking is a leisure activity that is generally enjoyed by people of all ages and should therefore be possible for everyone, independent of their physical abilities. The aim here is to examine if spatial information technology can be used as a tool to analyze accessibility of hiking trails for mobility handicapped hikers. This thesis examines the accessibility of selected hiking trails for people with mobility handicaps in the area of Detmold, Germany, by analyzing and classifying the conditions of hiking trails as well as their slope using a GIS-based approach. Already collected descriptive data on the conditions of the different hiking trails was combined with an in-depth literature research on the accessibility of different pavement surfaces for mobility impaired disabled persons. Furthermore, a digital terrain model was created from LiDAR point clouds to yield information about surface slopes along hiking trails. Different surface types and slope classes were subsequently combined into a combination-matrix to classify existing hiking trails as accessible (28%) and non-accessible (42%). 30% of hiking trails could not be analyzed due to a lack of sufficient surface type information. Additionally, analysis of line density was used to examine density hot spots among accessible and non-accessible trails. While accessible hiking trails were located to a higher degree in urban structures, non-accessible trails, in contrast, were more associated with rural settings. This method therefore enables the identification and analysis of accessible hiking trails for mobility impaired disabled people.

Keywords: GIS, Accessibility, Hiking, Hiking trail surface types, Slope, DEM

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Relevanz des Themas

Wandern ist in Deutschland Volkssport. Die Grundlagenuntersuchung Freizeit und Urlaubsmarkt Wandern des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie zählt annähernd 56% der deutschen Gesamtbevölkerung ab 16 Jahren zu aktiven Wanderern, dieses entspricht ca. 40 Millionen Personen (QUACK et al. 2010). Weiterhin zählt das Institut Allensbach 7 Millionen Personen zu häufigen Wanderern und 32 Millionen zu Gelegenheitswanderern (IFD ALLENSBACH 2019). QUACK et al. (2010) beschreiben den Begriff als „Wandern ist Gehen in der Landschaft. Es handelt sich dabei um eine Freizeitaktivität mit unterschiedlich starker körperlicher Anforderung, die sowohl das mentale wie physische Wohlbefinden fördert“. Weiterhin wird für das Wandern die Mindestdauer von einer Stunde, einer entsprechenden Planung, die Nutzung entsprechender Infrastruktur und eine angepasste Ausrüstung definiert (QUACK et al. 2010). Diese Definition richtet sich an sogenannte „Fußgänger“ und kann daher auch für mobilitätseingeschränkte Personen verwendet werden, da mit Ausnahme des Vorgangs des „Gehens“ alle weiteren Kriterien uneingeschränkt erfüllt werden können und sich allein die Art der Fortbewegung unterscheidet.

Aktivitäten wie Spazieren, Wandern oder Laufen im öffentlichen Landschaftsraum haben einen erheblichen, unmittelbaren Einfluss auf das mentale „well-being“ (WOLF et al. 2014). Weiterhin wird auf den positiven Einfluss des Sozialisierens auf die individuelle Gesundheit hingewiesen. Außerdem hat Bewegung im öffentlichen Landschaftsraum einen positiven Effekt auf das Selbstbewusstsein (BARTON et al. 2009). Das bewusste Erleben des Naturraums, sei es nun durch Wandern oder andere Aktivitäten, erfordert eine Auseinandersetzung und Interaktion mit dem Raum. Dadurch kann sich ein Lerneffekt einstellen, in dem naturräumliche Phänomene entdeckt, beschrieben und in den Kontext gestellt werden können.

Die Vorteile von Wandern und Bewegung im öffentlichen Landschaftsraum müssen allen Personen zur Verfügung stehen, ungeachtet individueller Ein- und Beschränkungen. Das Recht auf uneingeschränkte Teilhabe und Inanspruchnahme dessen ist in diversen gesellschaftlichen und völkerrechtlichen Verträgen verankert (BGG 2002, AGG 2006, CRPD 2006, SGB IX 2016). Ein gesamtgesellschaftlicher und internationaler Vertrag in diesem Themenkomplex ist das Übereinkommen über die Rechte von Behinderten der Vereinten Nationen (Convention on

the Rights of Persons with Disabilities - CRPD), die UN-Behindertenrechtskonvention (CRPD 2006). Diese konkretisiert die universellen Menschenrechte für Menschen mit Behinderungen und weist darauf hin, dass diese Personengruppe ein universelles und selbstverständliches Recht auf Teilhabe besitzen (BENTELE 2017). Der Artikel 30 – *Participation in cultural life, recreation, leisure and sport*, Absatz 5 sieht vor, dass Menschen mit Behinderung gleichberechtigt unter anderem an sportlichen Aktivitäten teilnehmen dürfen, dazu zählt auch Wandern (CRPD 2006). Die UN-Behindertenrechtskonvention als völkerrechtlicher Vertrag wird von den teilnehmenden Nationen und Institutionen in nationale Richtlinien und Gesetze umgesetzt, Tab.1 fasst entsprechende Gesetze und Richtlinien zusammen und stellt diese aufgeschlüsselt nach institutioneller bzw. geopolitischer Ebene dar.

Tab.1: Übersicht über nationale und internationale Richtlinien und Gesetze zur Gleichstellung von Menschen mit Behinderung, aufgeschlüsselt nach institutioneller und geopolitischer Ebene. Modifiziert nach HENNIG (2017)

Geopolitische Ebene	Gesetze bzw. Richtlinien über die Gleichstellung und Schutz von behinderten Personen
International	Convention on the Rights of Persons with Disabilities / UN-Behindertenrechtskonvention der Vereinten Nationen (CRPD 2006)
Europäische Union	EU Richtlinie 2006/54/EC – Gleichbehandlungsrahmenrichtlinie (RICHTLINIE 2006/54/EG 2006)
Deutschland	Allgemeines Gleichstellungsgesetz (AGG 2006) Behindertengleichstellungsgesetz (BGG 2002) Sozialgesetzbuch IX (SGB IX 2016)

„Behindernde“ Elemente oder auch Barrieren müssen detektiert werden, um Wandern für Personen mit motorischen Einschränkungen erleb- und erfahrbar zu machen. Wandern ist eine Aktivität, die bedingt durch ihre Ausübung in der freien Natur, eine sehr hohe räumliche und damit geografisch erfassbare Komponente besitzt. Damit ist dieses Themenfeld prädestiniert für die Erfassung, Verwaltung, Analyse und Wiedergabe mit Geoinformationstechnologien und Geoinformationssystem. In ebendiesen können gegebenenfalls Barrieren mit einer physikalischen und räumlichen Ausprägung angesprochen und analysiert werden. Zu den räumlich beschreibbaren Barrieren, die barrierefreies bzw. barrierearmes Wandern erschweren gehören unter anderem hohe Steigungen, lange,

ununterbrochene Steigungen ohne Ruhemöglichkeit, hohe Kanten oder unebene Oberflächen (MATTHEWS et al. 2003).

1.2 Literaturüberblick

Die erste wissenschaftliche Publikation zum Themenkomplex Wandern stammt aus dem Jahr 1935. WACHSMUTH et al. (1935) befassen sich in ihrer Arbeit mit Sportunfällen und Sportverletzungen beim Marschieren, Wandern und Militärsport. Diese Publikation zeugt von dem gesellschaftlich-zeitgeistlichen Kontext und den historischen Hintergründen, aus der sich über die Jahrzehnte hin der heutige Wandersport entwickelt hat und der Themenkomplex Wandern wissenschaftliche Beachtung erlangt. Eine der frühesten Veröffentlichungen, die sich im Spannungsfeld Wandern und Behinderung bewegen, stellt eine Korrelation zwischen Wandern und physikalischem und mentalen Wachstum bei blinden Kindern her (BUELL 1965). In den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts verschiebt sich der Fokus auf biomechanische Prozesse nichtbehinderter Personen in Verbindung mit Wandern. Das optimale und maximale Gewicht für Wanderrucksäcke wird dabei in Abhängigkeit der zurückzulegenden Entfernung untersucht (SHOENFELD et al. 1977, 1978).

Zudem entwickeln sich umweltrelevante Themen im Wanderumfeld, beispielweise wird der Einfluss der Bodeneigenschaften auf Degradation von Bergwanderwegen untersucht (BRYAN 1977). TOBLER (1993) beschreibt die Korrelation zwischen der Geländeneigung und der Gehgeschwindigkeit und schlussfolgert, dass mit zunehmender Steigung oder zunehmendem Gefälle die Gehgeschwindigkeit in einem bestimmten Maße abnimmt. CHURCH et al. (2003) diskutieren einen methodischen Ansatz zur Quantifizierung von Zugänglichkeit, in dem die relative „Erschwernis“ auf Wegen von A nach B zwischen Rollstuhlfahrern und normal gehenden Personen verglichen wird. Die Erschwernisse sind dabei stark auf urbane Landschaftselemente bezogen, zum Beispiel Treppen, Stufen oder Poller.

Die Modellierung von Barrierefreiheit im urbanen Raum unter Einsatz von Geoinformationssystemen wird von MATTHEWS et al. (2003) vorgestellt. Deren System MAGUS („Modelling Access In Urban Systems“) kombiniert digitale Geobasisdaten mit individuellen Erfahrungen und der Fitness bzw. der Art des Hilfsmittels der Anwender (handbetriebener Rollstuhl, geschobener Rollstuhl, Elektrorollstuhl oder Elektromobil). Verschiedene, auch individuelle Barrieren, werden in eine diskrete Skala transferiert und als Impedanzwert für eine dedizierte Navigationsanwendung herangezogen. Weiterhin besitzt das MAGUS-System eine grafische Benutzeroberfläche zur Darstellung von Barrieren und als Werkzeug zur

Routenplanung für mobilitätseingeschränkte Personen. Für Entscheidungsträger im Bereich Städteplanung, Landschaftsarchitektur oder Politik kann das System als Werkzeug zur Erkennung und Vermeidung potentieller Barrieren in einem frühen Planungsstadium verwendet werden. BEALE et al. (2006) greifen das MAGUS-System auf, erweitern es um eine dynamische Segmentation der Wegeabschnitte und normalisieren diskrete Werte für Barrieren mittels künstlicher neuronaler Netzwerke.

Einen Routenplaner für Rollstuhlfahrer stellen MÜLLER et al. (2010) vor und ziehen als Grundlage OpenStreetMap (OSM) -Datensätze heran. Dabei wird, ausgehend von einer durchgreifenden, konsequenten OSM-weiten Ansprache der Barrieren und Wegeigenschaften, die kleinräumige und lokal beschränkte Betrachtung des Ortes aufgebrochen. Weiterhin wird hier der Wechsel von Closed-Source Datensätzen einzelner Institutionen zu Open-Source Datensätzen vollzogen, die ganz nach den Prinzipien des Web 2.0 und VGI durch die „Community“ generiert und frei für jedermann verfügbar gemacht werden.

Zugleich werden Barrieren nicht nur auf ihre physikalischen Eigenheiten untersucht, sondern auch durch Messung autonomer, körpereigener Indikatoren ermittelt (BERGNER et al. 2011). Es werden dabei körpergetragene Sensoren und GPS-Logger verwendet, um Stress und Emotionen zu messen, die bei der Interaktion mit stadträumlichen Barrieren entstehen. Als Resultat steht eine geographische Datenbank mit räumlichen Barrieren und deren korreliertes Stressniveau zur Verwendung als integratives Planungsinstrument. Mit Wheelmap (SOZIALHELDEN E.V et al. 2010) betrachten MOBASHERI et al. (2017) die Barrierefreiheit aus einem anderen Blickwinkel. Bisherige Publikationen diskutieren oftmals ausschließlich die Barrierefreiheit auf Strecken, aber nicht an den Start- und Zielorten. Wheelmap ist eine digitale, OpenStreetMap-basierte Kartenanwendung, die sowohl im Webbrowser unter www.wheelmap.org, sowohl als dedizierte Smartphone-App für Android und iOS verwendet werden kann. In Wheelmap werden öffentliche Einrichtungen und Gebäude durch die Community nach ihrer Eignung und Barrierefreiheit für mobilitätseingeschränkte Personen bewertet. Mittlerweile sind circa 800.000 Objekte bewertet worden (MOBASHERI et al. 2017). Anders als bereits angesprochene Methoden fokussiert Wheelmap auf punktuelle Informationen zu den untersuchten Objekten und deren Zugänglichkeit bzw. Barrierefreiheit. Routingoptionen mit Barrieren entlang Routen sind sekundär und finden in deren Arbeit keine Beachtung. KELM et al. (2017) stellen ein konkretes Beispiel zur Identifizierung von Steigungen

vor. Ausschließlich amtliche Daten werden dort verwendet, insbesondere Daten des Basis-DLM und das Digitale Geländemodell des Landes Nordrhein-Westfalens. Durch den Fokus auf Steigungen als Barriere wird ein Werkzeug vorgestellt, das Barrieren aufzeigt, die räumlich nur mit erheblichem Aufwand behebbar sind. Somit werden für Städtebau- und Landschaftsplaner wertvolle Informationen geliefert und es wird eine standardisierte Herangehensweise für die Erstellung eines Geländeprofiles etabliert. EDINGER et al. (2019) stellen ein neues Konzept und einen Prototyp zur Detektion von Barrieren und Geländeoberflächen vor. Handelsübliche Smartphones erfassen und speichern fortlaufend Bewegungs- und Neigungssensorik sowie GNSS-Daten, die anschließend durch Machine-Learning-Ansätze in Oberflächenarten (Asphalt, Schotter, Kopfsteinpflaster etc.) transferiert werden. Mit diesem Ansatz der kontinuierlichen Datenerfassung kann ein selbstlernendes System modelliert werden, das eine ständig wachsende Datengrundlage erzeugt und eine darauf aufbauende Analytik anbietet. Die daraus resultierenden Navigationsvorschläge sind dementsprechend an die Bedürfnisse von mobilitäts-eingeschränkten Personen angepasst, da sie rein objektiv die Oberflächenarten und Neigungsverhältnisse berücksichtigen.

Gemeinsam für die genannte Literatur ist, dass Forschung im Themenkomplex Barrierefreiheit und GIS stark auf den urbanen Raum fokussiert ist. Abseits urbaner Strukturen gelegene Gebiete werden kaum beachtet. Die einseitige Orientierung der aktuellen Forschung im Umfeld „GIS und Barrierefreiheit“ auf den urbanen Raum verursacht ein Ungleichgewicht zu Ungunsten des ruralen Raums. Es gibt jedoch ein paar Forschungsansätze auf dem betroffenen Gebiet. JANEZKO et al. (2016) untersuchen mittels persönlicher Befragungen die Präferenzen von Rollstuhlfahrern auf Waldwegen. KOZUMPLIKOVA et al. (2010) untersuchen Evaluationsmethodiken für den Zugang zu Waldwegen mit Rollstuhlfahrern. Auch durch Crowdsourcing, VGI sowie Big Data-Analytik werden sich in Zukunft neue Räume erschließen, die heute bisher kaum Beachtung erhalten.

1.3 Zielsetzung und forschungsleitende Frage

Wie bereits im Literaturüberblick festgestellt, weist die Forschung zu dem heutigen Zeitpunkt ein Ungleichgewicht auf, da Betrachtungen der Barrierefreiheit für Rollstuhlfahrer sich stark auf den urbanen Raum beziehen und weitere naturräumliche Einheiten, insbesondere der rurale Raum, nicht Gegenstand der aktuellen Forschung sind. Gerade Wandern als Freizeitaktivität ist naturgemäß mit einer hohen geographischen Komponente verbunden –

sei es durch die Wegeföhrung durch den Raum, die Beschaffenheit des Bodens oder die begleitende Infrastruktur wie Bänke, Wegweiser oder auch Einkehrmöglichkeiten entlang eines Weges. Wanderwege sind naturgemäß räumlich divers, und verlaufen selten mit gleicher Wege-beschaffenheit oder Geländeneigung auf der ganzen Länge. Diese ausgeprägten geographischen Komponenten ermöglichen Untersuchungen des Themenkomplex Wandern mit GIS-Methodik.

Die bestehende Lücke zwischen Barrierefreiheit im ruralen Wander-Raum und einer räumlichen, GIS-unterstützten Analyse soll angesprochen und zum Teil geschlossen werden. Daraus leitet sich nun wie folgt die Forschungsfrage für diese Thesis ab:

Können mit Hilfe von amtlichen Geoinformationen Wanderwege oder Abschnitte derselben identifiziert werden, die für Menschen mit Mobilitätseinschränkung passierbar sind?

Aus dieser übergeordneten Forschungsfragen werden folgenden Teilfragen abgeleitet:

- Welche amtlichen Daten sind für die Untersuchung der Barrierefreiheit geeignet?
- Welche Kriterien können zur Beurteilung der Barrierefreiheit herangezogen werden?
- Welche Methodik wird für die Identifizierung verwendet?
- Sind räumliche Häufungen (Clusterungen) bestimmter Merkmalskombinationen vorhanden? Können diese identifiziert werden bzw. mit ihrer Umgebung korreliert werden?
- Stehen neben amtlichen Datensätzen noch andere, gleichwertige nichtamtliche Datensätze zur Verfügung?

Ziel dieser Thesis ist, einen methodischen Ansatz aufzuzeigen, mit dessen Hilfe Wanderwege oder Teile dessen auf ihre Wegbarkeit für Personen mit Mobilitätseinschränkungen untersucht werden können. Das Hauptaugenmerk liegt in der (Literatur-)Recherche der Parameter zur Bestimmung der Barrierefreiheit, der GIS-basierten Umsetzung in ein räumliches Modell und dessen Auswertung im Hinblick auf räumliche Verteilung der Barrierefreiheit. Die wichtigen Parameter hierbei sind zum einen die Bodenbeschaffenheit entlang der Wanderwege (=Wegebeschaffenheit) und andererseits die Geländeneigung der Wanderwege. Endpunkt des zu entwickelnden Prozesses soll eine digitale Repräsentation des Wanderwegenetz sein, in dem erkenntlich ist, welche Abschnitte der untersuchten

Wanderwege potentiell für Personen mit Mobilitätseinschränkungen begehbar sind. Da Wanderwege in ihrem Verlauf eine Vielfalt an verschiedenen Wegebelagstypen und Geländeneigungen aufweisen könnten, ist es interessant, diese Variabilität mittels geeigneter Segmentierung zu erfassen und die Beurteilung der Barrierefreiheit ebenfalls auf diesen Segmenten durchzuführen. Weiterhin soll erkennbar sein, in welchen Gebieten bestimmte Merkmalskombinationen vermehrt auftreten, sogenannte Clusterungen. Da, wie bereits angesprochen, Wanderwege inhomogen in ihren Merkmalen sind, ist es mit Sicherheit interessant, Bereiche zu identifizieren die generell eine höhere Dichte an Barrierefreien Wanderwegen aufweisen. Durch eine potenzielle Identifizierung von Merkmalsclusterungen könnte eine eventuelle Korrelation von Wegemerkmalen und Landschaftsräumen nachgewiesen werden. Die Untersuchung der Barrierefreiheit von Wanderwegen wird konkret am Beispiel des Detmolder Wanderwegenetz durchgeführt. Zudem wird die Herkunft der verwendeten Daten auf amtliche Geodaten beschränkt.

1.4 Begrifflichkeiten und Definitionen

1.4.1 Wanderwegenetz

Das Wanderwegenetz ist die Grundlage jedes Wanderangebots und kombiniert verschiedene Streckenverläufe. Ein Wanderwegenetz ist ein Netz an Wanderwegen, welches sich hierarchisch in verschiedenen Ebenen unterteilt (QUACK et al. 2010). An oberster Stelle der Hierarchie stehen Europäische Fernwanderwege, danach folgen Hauptwanderwege, Gebietswanderwege und auf der untersten Hierarchieebene Ortswanderwege. Wanderwege, die unabhängig ihrer Hierarchieebene miteinander interagieren, sich kreuzen oder auch Abschnitte teilen, können zu einem Wanderwegenetz zugerechnet werden.

1.4.2 Wanderwege

Eine allgemeingültige Definition von Wanderwegen ist aufgrund ihrer Vielfältigkeit nicht möglich. Gemeinsam für viele Definitionen ist jedoch, dass Wanderwege Fußwege sind, die mittels geeigneter Markierungen (Erkennungstafeln bzw. Wegweiser) über interessante Wege und Wegführungen geographische Ziele verbinden. Wanderwege können sowohl als Streckenwanderung zwischen zwei oder mehreren entfernten Punkten verlaufen oder auch als Rundwanderweg ausgelegt sein, der Start- und Zielpunkt an einem Ort vereint.

1.4.3 Wegesegment/Wegeabschnitt

Wegesegmente oder auch Wegeabschnitte sind segmentierte Wanderwege, die anhand definierter Kriterien unterteilt worden sind. Zu diesen Kriterien zählen unter anderem eine definierte Streckenlänge oder auch die Strecke zwischen zwei Wegegabelungen, Abb.1 stellt diese Segmentationstypen grafisch dar. Als definierte Streckenlänge kommt hier eine Länge von 10 m zum Einsatz, eine Segmentierung zwischen Wegegabelungen erfolgt nicht.

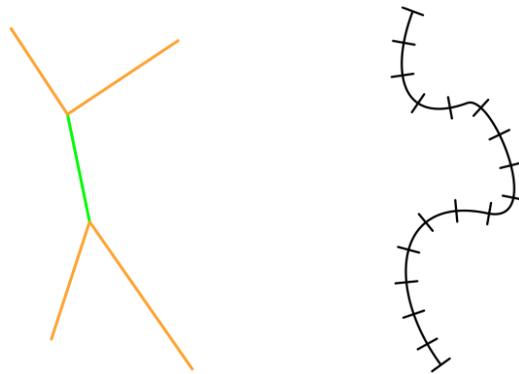


Abb.1: Beispiele für Segmentation von Wanderwegen: linke Bildhälfte: Segmentation zwischen Wegegabelungen (in grün), rechte Bildhälfte: regelmäßige Segmentation anhand definierter Streckenlängen

1.4.4 Linien-Features

Linien-Features sind mathematisch beschreibbare, geometrische Vektorobjekte, die mindestens zwei geographische Punkte verbinden. Sie repräsentieren im GIS Objekte, die keine flächenhafte Ausprägung besitzen (Grenzen, Isolinien, Straßenmittellinien etc.) (ESRI INC 2020A). Weiterhin können mit Linien-Features flächenhafte Geometrien repräsentiert werden, die einen Generalisierungsprozess durchlaufen sind (Straßenverläufe, Gewässerverläufe oder auch (Wander-)Wege etc.). Linien-Features gehören neben Punkt-Features und Polygon-Features zu den Geometrietypen, die von allen relevanten GIS-Systemen interpretiert werden können.

1.5 Vorstellung des Untersuchungsgebiet

1.5.1 Allgemeines und räumliches Profil des Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist identisch mit der Ausdehnung der ostwestfälischen Stadt Detmold (Abb.2). Detmold liegt im äußeren Nordosten von Nordrhein-Westfalen, im Kreis Lippe. Die Stadt hat 74.388 Einwohner auf einer Fläche von 129,39 km² (DESTATIS 2019) und ist damit die größte Stadt im Landkreis Lippe. Detmold hat eine Nord-Süd Ausdehnung von 15,5 km und eine West-Ost Ausdehnung von 15,6 km. Detmold ist Sitz der Kreisverwaltung des Landkreises Lippe sowie der Bezirksregierung für den Regierungsbezirk Detmold.

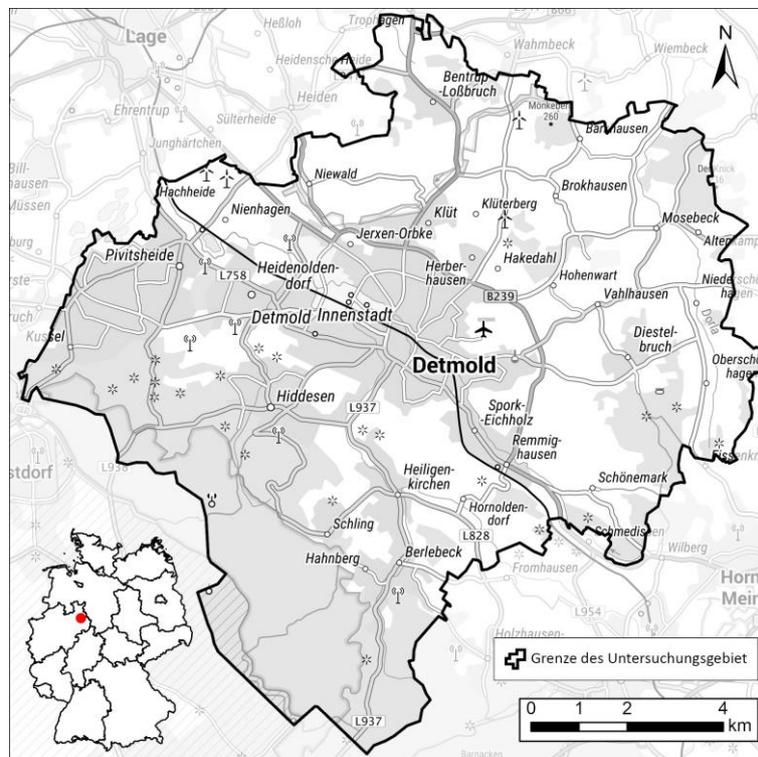


Abb.2: Lage des Untersuchungsgebietes im regionalen und im bundesweiten Kontext. Die äußere Begrenzung des Gebietes ist durch die dicke, schwarze Linie dargestellt. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

Das Kommunalprofil der Stadt Detmold, veröffentlicht durch IT.NRW (2017A) zeigt für die Stadt Detmold ein in Tab.2 dargestelltes Flächennutzungsprofil.

Tab.2: Kommunalprofil der Stadt Detmold und des Kreis Lippe im Vergleich, modifiziert nach IT.NRW Landesdatenbank

Fläche nach Nutzungsarten in Detmold Stand 31.12.2015	Fläche Detmold (ha)	Teilflächen Detmold (ha)	Anteil an Gesamtfläche Detmold	Anteil an Gesamtfläche Kreis Lippe
Siedlungs- und Verkehrsfläche	3390		26,2%	16,9%
<i>Gebäude und Freifläche, Betriebsfläche</i>		2140	16,5%	9,8%
<i>Erholungsfläche, Friedhofsfläche</i>		414	3,2%	1,8%
<i>Verkehrsfläche</i>		836	6,5%	5,2%
Freifläche außerhalb der Siedlungs- und Verkehrsfläche	9550		73,8%	83,1%
<i>Landwirtschaftsfläche</i>		5170	40,0%	50,1%
<i>Waldfläche</i>		4251	32,9%	30,8%
<i>Sonstige Flächen</i>		128	1,0%	1,4%
<u>Gesamtfläche</u>	<u>12940</u>		<u>100%</u>	<u>100%</u>

Das Landschaftsbild der Stadt Detmold ist geprägt von vielfältigen Landschaftselementen. Der Norden und Osten des Stadtgebietes wird von landwirtschaftlichen Flächen und größeren Waldflächen geprägt. Das Zentrum wird von dem eigentlichen Stadtkern eingenommen (Abb.3). Der Vergleich mit dem Kommunalprofil (Tab.2) bestätigt den landwirtschaftlichen und waldreichen Charakter der Stadt. Detmold ist damit ein Gebiet, das ein hohes Maß an Naturerholung bietet und hat gemeinsam mit dem Kreis Lippe den Deutschen Wandertag 2018 ausgerichtet.

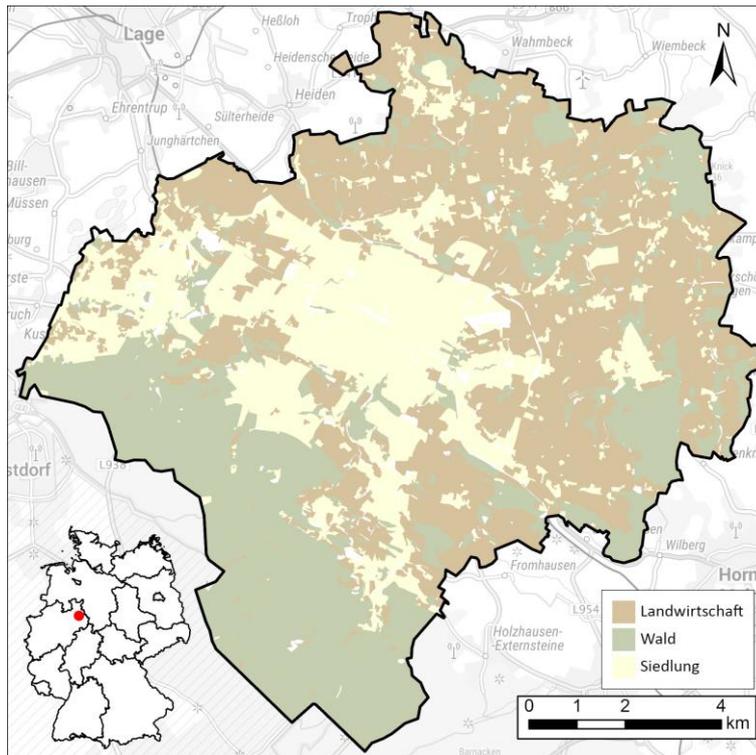


Abb.3: Flächen der tatsächlichen Nutzungsarten gemäß Basis-DLM/ATKIS im Stadtgebiet Detmold. Siedlungsflächen werden in Beige, Waldflächen in Grün und Landwirtschafts-flächen in Braun dargestellt. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

Die höchste Erhebung, die vollständig im Stadtgebiet liegt, ist der Bielstein mit 393 m über Normalhöhennull (NHN). Im Süden ist das Relief, bedingt durch Ausläufer des Barnacken als höchste Erhebung des Teutoburger Wald (446,4 m über NHN), etwas höher. Der Bielstein ist wie die benachbarte Grotenburg mit dem Hermannsdenkmal Teil des Teutoburger Wald. Der Teutoburger Wald stellt die dominierende, Nordwest-Südöstlich streichende Höhenentwicklung auf dem Detmolder Stadtgebiet dar, nordöstlich davon verflacht das Relief um im Nordosten des Stadtgebietes wieder an Höhe zu gewinnen (Abb.4).

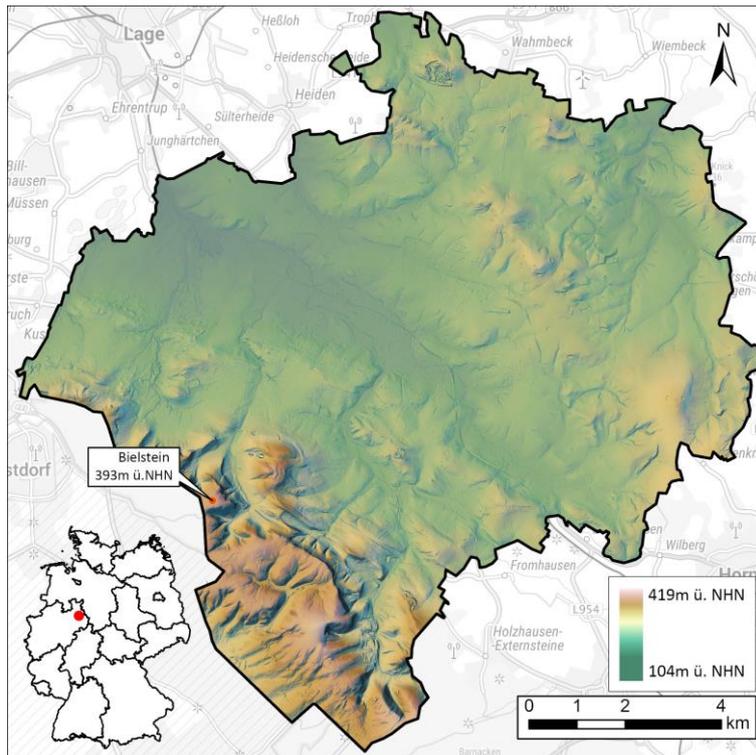


Abb.4: Darstellung des Höhenreliefs im Detmolder Stadtgebiet als Kombination aus farbcodierter Rasterdarstellung des Höhenmodells und einer Kombinationsschummerung. Der Bielstein als höchste Erhebung des Stadtgebietes ist in der Karte farblich markiert. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebietes im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

1.5.2 Wanderinventar des Untersuchungsgebiet

Das Wanderwegenetz im Untersuchungsgebiet ist mit 166km Gesamtlänge Teil des mehr als 3000 km langen lippischen Wanderwegenetz, welches das Gebiet des Kreis Lippe und angrenzende Kreise durchzieht (Abb.5). Prominentester Wanderweg ist der Europäische Fernwanderweg E1, der auf Detmolder Gebiet am Hermannsdenkmal vorbeigeht. Die Wanderwege im lippischen Wanderwegenetz gliedern sich in Hauptwanderwege, die überregionalen Gebiete verbinden und dabei große Entfernungen überwinden, zum Beispiel der Wanderweg E1 und auch der Hermannsweg. Weiterhin verbinden in Bezirkswanderwege mit „grenzüberschreitendem“ Charakter die Nachbargemeinden und sind im Schnitt 10-15 km lang. Zudem werden noch ortsbezogene Rundwanderwege ausgewiesen (Tww.E.V. 2020). Außerdem werden im lippischen Wanderwegenetz noch themenbezogene Wanderwege angeboten, zum Beispiel die KlimaErlebnisRouten. Diese Routen verbinden Naturerleben mit Umweltbildung im Umfeld Klima, Natur und Gesundheit (LTM GMBH 2020). Zudem sind einige Wanderwege durch den Deutschen Wanderverband zertifiziert und tragen das Qualitätssiegel „Wanderbares Deutschland“ (LTM GMBH 2020).

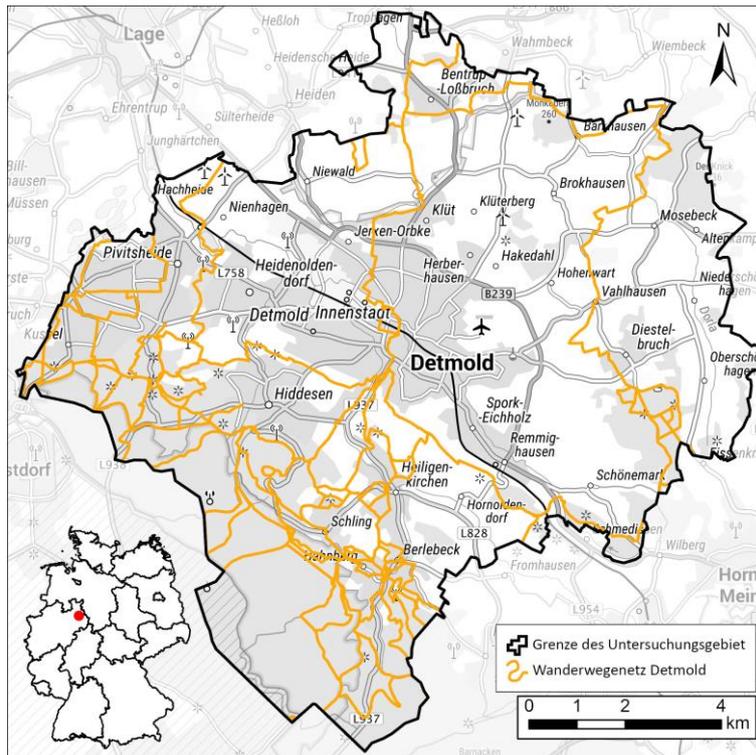


Abb.5: Wanderwegenetz im Stadtgebiet Detmold. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

1.5.3 Statistiken zu Demographie und Behinderung in der Stadt Detmold

Im Untersuchungsgebiet der Stadt Detmold lebten zum Stichtag 31.12.2015 insgesamt 74817 Personen, davon 16013 Personen in einem Alter über 65 Jahren (It.NRW 2017A). Weiterhin sind insgesamt 6314 Personen mit Schwerbehinderung gemeldet, 8,44% der Einwohner sind demnach schwerbehindert (It.NRW 2017A). Da ein mögliches Wanderpublikum mit Mobilitätseinschränkungen nicht nur die Einwohner des Untersuchungsgebiet einbezieht, werden zum Vergleich noch die äquivalenten Daten des Kreis Lippe herangezogen. Für das Kreisgebiet sind 28627 Personen mit Schwerbehinderung gemeldet. Prozentual ausgedrückt entspricht das 8,16% der gesamten lippischen Bevölkerung. Detmold und der Kreis Lippe haben demzufolge einen ähnlichen Anteil an Personen mit Schwerbehinderung.

Weiterhin listen die Kommunalprofile für die Stadt Detmold und den Kreis Lippe die Anzahl der in den jeweiligen Gebietseinheiten lebenden Personen nach Form der Behinderung auf (Tab.3). Dennoch ist eine Aussage über Personen mit Mobilitätseinschränkungen in dieser Tabelle nur bedingt möglich, da beispielweise die Angabe der betroffenen Gliedmaßen und das Ausmaß des Verlustes essential für die Einschätzung der Mobilitätseinschränkung ist. Dieses ist in dieser Tabelle nicht gegeben. Angaben über Querschnittslähmungen und

zerebrale Störungen werden mit geistig-seelischen Behinderungen und Suchtkrankheiten zusammengefasst. Diese Zuordnung verhindert eine belastbare Einschätzung an Personenzahlen mit Querschnittslähmungen und damit eine Aussage über potentielle Rollstuhlnutzer.

Tab.3: Statistik der Schwerbehinderten Menschen nach Art der Behinderung im kommunalen Vergleich, modifiziert aus (IT.NRW 2017A, B).

Schwerbehinderte Menschen am 31.12.2015	Kreis Lippe	Stadt Detmold
Art der schwersten Behinderung	insgesamt	insgesamt
Insgesamt	28627	6314
Verlust oder Teilverlust von Gliedmaßen	133	38
Funktionseinschränkungen von Gliedmaßen	2806	549
Funktionseinschränkung der Wirbelsäule und des Rumpfes, Deformierung des Brustkorbes	1748	351
Blindheit und Sehbehinderung	1456	422
Sprach- oder Sprechstörungen, Taubheit, Schwerhörigkeit, Gleichgewichtsstörungen	934	198
Verlust einer Brust oder beider Brüste, Entstellungen u. a.	1004	265
Beeinträchtigung der Funktion von inneren Organen bzw. Organsystemen	657	1368
Querschnittslähmung, zerebrale Störungen, geistig-seelische Behinderungen, Suchtkrankheiten	5704	1250
Sonstige und ungenügend bezeichnete Behinderungen	8485	1873

Jedoch sind diese Zahlen als „kleinster gemeinsamer Nenner“ der Zielgruppe zu verstehen, es würden alleine 6134 Personen in Detmold von einer barrierefreien Gestaltung von Wanderwegen definitiv profitieren, für die 74817 Einwohner von Detmold stellen die barrierefreie Gestaltung der Wanderwege eine Erleichterung dar – ganz im Sinne der Prinzipien des Universal Design oder Design für alle. Zu den weiteren möglichen Zielgruppen gehören auch andere Personengruppen, die von einer barrierefreien Gestaltung profitieren, u.a. Familien mit Kindern in Kinderwagen oder auch Personen, die in ihrer Mobilität eingeschränkt sind, aber nicht in der o.g. Statistik auftauchen.

1.5.4 Lokale Initiativen zur Barrierefreiheit

Im Untersuchungsgebiet existieren einige Initiativen und Projekte zur barrierefreien Gestaltung von Touristischen Angeboten, die auch Wandern und Naturerleben berücksichtigen. Das Projekt „Reisen für alle“ des Deutschen Seminar für Tourismus etabliert ein branchenübergreifendes und bundesweit einheitliches Kennzeichnungssystem im Bereich Barrierefreiheit (DSFT EV 2020B). Das Projekt hat auch den touristischen Raum Teutoburger Wald, unter Federführung der Teutoburger Wald GmbH untersucht und zertifiziert. Nicht nur Gehbehinderungen und Rollstuhlfahrer werden beachtet, sondern auch andere Formen der Behinderung, zum Beispiel Seh- oder Hörbehinderungen sowie kognitive Beeinträchtigungen. Für Anwender wichtige Informationen werden in Prüfberichten aufgeschlüsselt und zum Download bereitgestellt. Neben allgemeinen Informationen zu den Lokalitäten werden auch spezielle Informationen wie Platzangebot, Wegebeschaffenheiten, Türbreiten, etc. zur Verfügung gestellt und mit Bildern dokumentiert (DSFT EV 2020A).

Weiterhin hat die Teutoburger Wald Tourismus GmbH in Kooperation mit regionalen Projektpartnern das EFRE-Projekt „Leistungsketten für barrierefreies Reisen“ aufgelegt, mit dem Ziel barrierefreie Tourismusangebote für alle zu schaffen und die gesamte Reise- und Urlaubskette abzubilden sowie Angebotslücken aufzudecken (TEUTOBURGER WALD TOURISMUS 2020). Dieses Projekt verwendet die Standards, die das Projekt „Reisen für alle“ etabliert hat und bindet zertifizierte Angebote in die Leistungskette ein. Zudem betreibt das Projekt Öffentlichkeitsarbeit und bietet für Partner und Teilnehmer Schulungen zum Umgang mit Barrierefreiheit an (TEUTOBURGER WALD TOURISMUS 2020).

Zudem stellt Naturpark Teutoburger Wald/Eggegebirge auf der eigenen Webseite zwei barrierefreie Wanderwege vor: einen Rundwanderweg durch den historischen Ortskern Gehrden in 50 km Entfernung von Detmold und einen Rundweg durch den Kurpark Bad Salzuflen in 25 km Entfernung (NATURPARK TEUTOBURGER WALD EGGEGBIRGE 2009).

2 Methodik

2.1 Methodik im Überblick

Das Detmolder Wanderwegenetz soll im Hinblick auf barrierearme Wege untersucht werden, wobei Barrieren sich hauptsächlich durch größere Geländeneigungen und nicht geeignete Wegebeschaffenheiten äußern. Es wurde ein digitales Geländemodell erzeugt, aus diesem wiederum Geländeneigungen extrahiert. Die Geländeneigungen wurden mit den bestehenden Wanderwegen verschnitten. Die Wanderwege, bestehend aus Linien-Features, sind entsprechend attribuiert, unter anderem mit Wegebeschaffenheitsklassen. So soll für das untersuchte Wanderwegenetz ersichtlich sein, welche Kombination aus Wegebeschaffenheit und Geländeneigung auf den entsprechenden Wegen vorherrscht.

Diese Beschränkung beruht auf der Tatsache, dass für das Untersuchungsgebiet ausgewiesene und zugeschnittene Datensätze erstellt und bereitgestellt wurden. Weiterhin sind einige Datensätze ausschließlich über das amtliche Geoinformationswesen zu beziehen, darunter fallen die digitalen Höhenmodelle, digitale Orthophotos und die Datensätze des Basis-DLM. Mit Hilfe einer Literaturrecherche sollen Merkmale identifiziert werden, die eine Beurteilung von Wanderwegen im Hinblick auf ihre Eignung für Personen mit Mobilitätseinschränkungen erlauben. Hierbei werden insbesondere Wegebeschaffenheiten und Neigungsobergrenzen ermittelt, die für eine weitere Analyse in Frage kommen. Es sollen mit dieser Methode Wege einer bestimmten Neigungsklasse, einer bestimmten Wegebeschaffenheit oder einer Kombination auf beiden Faktoren aus dem analysierten Wegenetz herausgefiltert und im Hinblick auf ihre räumliche Verteilung analysiert werden.

2.2 Verwendete Daten und Geodatensätze

2.2.1 Allgemeines zu amtlichen Geodatensätzen

Unter amtlichen Geodaten werden verschiedene Datensätze betrachtet, die ihren Ursprung in der öffentlichen, behördlichen Verwaltung besitzen. Amtliche Geodaten werden in diesen Systemen prozessorientiert für die Wahrnehmung von Fachaufgaben in der Verwaltung benötigt (OSTRAU 2009). In der heutigen Informationsgesellschaft haben amtliche Geodaten mittlerweile eine wichtige Rolle. Diese Daten dienen für Politik, Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Bürgern als Grundlage vielfältiger Planungen und Prozessen. Diese

Herausforderungen erfordern eine Veröffentlichung der Daten unter Berücksichtigung verschiedener Standards und Normen unter dem Oberbegriff einer Geodateninfrastruktur (GDI) (OSTRAU 2009). Ausgehend der Verwendung einer GDI ergeben sich Vorteile für eine Publizierung von Geodaten. So werden Geodaten aus unterschiedlichen Quellen vereinheitlicht und publiziert. In der praktischen Umsetzung bedeutet dieses, dass die verwendeten Geodaten unabhängig ihrer Herkunft die gleichen Standards und Qualitätsansprüche erfüllen müssen. In der Bundesrepublik Deutschland wird die Vereinheitlichung der amtlichen Geobasisdaten durch die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland (AdV) koordiniert (OSTRAU 2009). Die Ziele bzw. Abgabe von Geodatenprodukten unter OpenData-Gesichtspunkten ergeben sich aus zwei Quellen, zum einen die Forderung nach einer transparenten Verwaltungsarbeit und einer ökonomischen Forderung nach einer Weiterverarbeitung der Daten durch dritte (LADSTÄTTER 2015). Die Abgabe amtlicher (Geo-)daten werden durch die jeweiligen eGovernment und Digitalisierungsstrategien der Bundesländer festgelegt. Für das Bundesland Nordrhein-Westfalen werden die Datensätze vereinheitlicht als OpenData auf einer zentralen OpenData-Plattform veröffentlicht. Die Veröffentlichung und Qualitätssicherung als OpenData beruht auf mehreren Prinzipien: Vollständigkeit, Primärquelle, zeitliche Nähe, leichter Zugang, Maschinenlesbarkeit, Diskriminierungsfreiheit, offene Standards, Lizenzierungsfreiheit, Dauerhaftigkeit und Kostenfreiheit (CAFFIER et al. 2017).

2.2.2 Basis DLM

Für die deutschlandweit einheitliche Beschreibung der topographischen Oberfläche hat die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) ein semantisches, digitales Datenmodell entwickelt, in der Landschaftsobjekte und das Oberflächenrelief im Vektordatenformat beschrieben und die Bestandteile einer Landschaft in Objekten (Punkt, Linie oder Polygon) und Relationen erfasst werden (AdV 2008). Aus dieser semantisch-attributiven Beschreibung wird das Digitale Basis-Landschaftsmodell Basis-DLM abgeleitet. Das Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen (Geobasis.NRW) gibt den Datensatz des Basis-DLM flächendeckend und frei verfügbar über das Web-Portal OpenGeodata.NRW heraus (LAND NRW 2019B). Für die Bearbeitung der Forschungsfrage wurde der Datensatz des Basis-DLM verwendet, räumlich zugeschnitten auf die Ausdehnung des Untersuchungsgebiets.

2.2.3 Digitale Höhenmodelle

Digitale Höhenmodelle (DHM) beschreiben in digitaler Form die Geländehöhe und Form der natürlichen Erdoberfläche (GEOBASIS NRW 2020B). DHM wird außerdem als Oberbegriff für Digitale Geländemodelle (DGM) und Digitale Oberflächenmodelle (DOM) verwendet. Geobasis.NRW in seiner Aufgabe als Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen, stellt sowohl das Digitale Oberflächenmodell (DOM) als auch das Digitalen Geländemodell (DGM) als OpenData zum Download bereit, ebenfalls im bereits angesprochenen Open.NRW-Portal (LAND NRW 2019A). Digitale Oberflächenmodelle beschreiben die gesamte Geländeform der Erdoberfläche, inklusive der auf der Erdoberfläche liegenden topographischen Elemente wie z.B. Vegetation, Gebäude oder andere Bauwerke. Digitale Geländemodelle wiederum beschreiben die Geländeform der Erdoberfläche ohne aufliegende Topographie und Bauwerke (Abb.6). Die Datensätze liegen im ASCII-basierten XYZ-Format zum Download bereit, paketiert nach Gemeinden. Das DOM1L und das DGM 1L werden als unregelmäßige, dreidimensionale LiDAR-Rohdaten-Punktwolke mit einem mittlerem Punktabstand von 4 bis 10 Punkte pro m² abgegeben. In der regelmäßig angeordneten Punktwolke DGM1 werden die bereits nach Gemeinde paketierte Datensätze zudem in 2x2 km große Quadrate unterteilt. Somit enthält jede DGM1 XYZ-Datei bei 1 m Punktabstand 4.000.000 Punkte. Die Höhenangaben der jeweiligen Punktwolken beziehen sich auf das Deutsche Haupthöhennetz 2016 (EPSG: 7837). Die Lage der Punkte im DGM1 ist mathematisch exakt bestimmt, die Höhengenaugigkeit liegt hier bei +/- 20cm (GEOBASIS NRW 2020A). Für das DGM1L sowie das DOM1L sind Lagegenauigkeiten von +/- 30 cm und Höhengenaugigkeiten von +/-15 cm angegeben (GEOBASIS NRW 2020A). Zum 18.12.2019 wurde die Abgabe des DOM1L und DGM1L durch Geobasis.NRW eingestellt. Als Nachfolger ist eine kombinierte Variante im LAS-Format eingeführt worden (GEOBASIS NRW 2019). LAS bietet im Gegensatz zu den ASCII-XYZ Dateien eine Reihe von Vorteilen hinsichtlich Dateigröße, Performance und Filterbarkeit. Da diese erst zu einem fortgeschrittenen Stadium dieser Thesis veröffentlicht wurden, finden die LAS-Daten keine Berücksichtigung. Zur Anwendung kommt ausschließlich das DGM1, räumlich zugeschnitten auf das Untersuchungsgebiet.

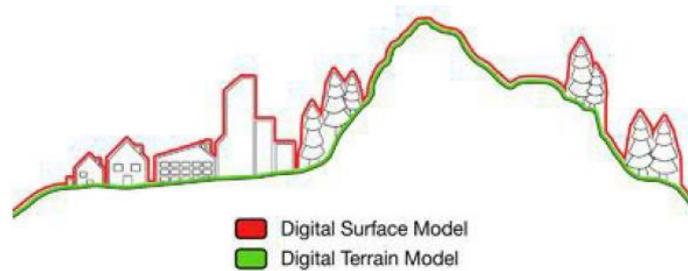


Abb.6: Unterschied zwischen Digitalen Oberflächenmodellen (Digital Surface Model) und Digitalen Geländemodellen (Digital Terrain Model), Abbildung aus ASHARYANTO et al. (2015)

2.2.4 Digitale Orthophotos (WMS)

Zur Begutachtung der Ist-Situation vor Ort wird ein digitales Orthophoto (DOP) verwendet. Die Orthophotos werden von Geobasis.NRW unter OpenData-Lizenz als WMS bereitgestellt und zeigen in vier Ebenen georeferenzierte und maßstabsgetreue aero-photographische Abbildungen der Erdoberfläche im belaubten Zustand (Echtfarbenbild (RGB), Nahbereich-Infrarot (NIR), Falschfarben-Infrarot (CIR) und Metadaten). Die digitalen Orthophotos haben über alle Spektralkanäle eine Bodenauflösung bzw. Ground Sampling Distance (GSD) von 10cm pro Pixel und stammen aus dem Landesbildflugprogramm, das den Bereich Ostwestfalen-Lippe zuletzt 2017 aufgenommen hat.

2.2.5 Wanderwegeinventar

In Vorbereitung auf den in Detmold ausgerichteten deutschen Wandertag 2018 und damit verbundenen Zertifizierungen durch den deutschen Wanderverband wurde das Wanderwegenetz systematisch aufgenommen und katalogisiert. Diese Wege wurden und werden auch weiterhin durch ehrenamtliche Wegewarte der lokalen Wanderorganisationen (z.B. Teutoburger-Wald-Verein Lippe-Detmold e.V., Eggegebirgsverein e.V. und Lippischer Heimatbund – Fachstelle Wandern) kontrolliert, gepflegt und verwaltet. Die Verwaltung und Dokumentation der Wanderwege erfolgt in Kooperation des Kreis Lippe mit dem Kompetenzzentrum Wandern – W.A.L.K und den Wanderorganisationen. Der Fachbereich 6 – Geoinformation, Kataster und Immobilienbewertung des Kreis Lippe stellt die digitale (Geodaten-)Infrastruktur für die Erfassung und Darstellung der einzelnen Wanderwege bereit und erstellt die jeweiligen Erfassungsbögen für die In-Situ Aufnahme. Die Wegewarte erfassen

die Wege mittels der Erfassungsbögen sowie Handheld-GPS-Empfängern zum Aufzeichnen der Streckenverläufe.

Im Rahmen dieser Thesis wurde von der Kreisverwaltung Lippe ein Datensatz des Wanderwegenetz bereitgestellt. Die Daten liegen im ESRI-Shapefile vor und beinhalten neben der linienhaften Wegeführung weitere Attribute, die den jeweiligen Wegeabschnitt beschreiben (Anhang Tab.3). Nur ein Teil der vorliegenden Attribute sind für die Forschungsfrage von Interesse, im Speziellen der tatsächliche Wegeverlauf und der Wegebeschaffenheit.

2.3 Anforderungen an die barrierefreie Gestaltung von Wanderwegen

2.3.1 Klassifizierung der Wegebeschaffenheitstypen nach Kriterien des DWV

Der DWV beschreibt in den Informationsmaterialien zu Qualitätswanderwegen vier verschiedene Wegebeschaffenheitstypen (NEUMEYER 2019). In Schulungsunterlagen für eine Wegekartierung durch Wegewarte werden diese Kriterien detailliert ausgeführt (Tab.4) (NATURPARK TEUTOBURGER WALD/EGGEBIRGE 2015).

Tab.4: Wegebeschaffenheitstypen in Qualitätswanderwegen und deren Ansprache, aus Schulungsunterlagen für Wegekartierungen, modifiziert nach NATURPARK TEUTOBURGER WALD/EGGEBIRGE (2015).

Wegebeschaffenheitstyp	Photographische Beispiele für Wegebelagstypen
<p>1. Naturnahe Wege:</p> <p><i>Naturbelassen:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • erdige, grasige, auch steinige Wege (wenn landschaftstypisch) • anspruchsvoll • ohne künstliche Befestigung • gut begehbar <p><i>Befestigt:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • bewachsen oder verwittert • mit dominierendem Anteil erdiger oder grasiger Oberfläche • gut begehbar 	
<p>2. Befestigte Wege mit Feinabdeckung</p> <ul style="list-style-type: none"> • wassergebundene Decke • Künstliche Feinabdeckung aus Material mit einer Korngröße unter 16mm • ausschlaggebend ist die Beschaffenheit der Gehspur 	
<p>3. schlecht begehbarer Wegebelag</p> <ul style="list-style-type: none"> • aufgeschüttete, lose Bruchsteine ohne Feinabdeckung (Korngröße > ca. 16mm) • Schotter • Bauschutt • stark zerfahrene Wege ohne Gehspur • dauerhaft schlammige Oberfläche • ausschlaggebend ist die Beschaffenheit der Gehspur 	
<p>4. Verbunddecken</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wege mit Asphalt • Wege mit Beton (inkl. Betonspurbahnen) • Wege mit Verbundsteinen • ausschlaggebend ist die Beschaffenheit der Gehspur 	

2.3.2 Anforderungen an barrierefreie Wanderwege

Für mobilitätseingeschränkte bzw. gehbehinderte Personen existieren generell mehrere Barrieren. Dazu gehören u.a. das Bewältigen größerer Höhenunterschiede (Stufen, Treppen, Rampen oder auch längere Steigungen) bzw. schmale Durchgänge, glatte Bodenbeläge (insb. bei nasser Witterung), kleine Wendebereiche oder nicht erreichbare Armaturen und Handgriffe (HENNIG 2017). Das Bundeskompetenzzentrum Barrierefreiheit hat 2010 einen Forderungskatalog für Mindestanforderungen zum barrierefreien Naturerleben herausgebracht (HEIDEN et al. 2010). Der Baustein 5 des dritten Moduls präzisiert Anforderungen an eine barrierefreie Gestaltung von Wanderwegen, die in Anhang Tab.5 auszugsweise zusammengefasst werden. Die an die DIN 18024-1 angelehnte Darstellung der Bodenarten auf Nullbarriere.de wird zur Bewertung der Wegebeschaffenheiten der untersuchten Wanderwege herangezogen (Anhang Tab.6). In Tab.5 werden die Ergebnisse der Literaturrecherche zu verschiedenen Anforderungen an die Wegebeschaffenheit zusammengefasst.

Tab.5: Anforderungskatalog an Wegebeschaffenheiten: Ergebnisse der Literaturrecherche aus DIN 18024-1 (1998), MATTHEWS et al. (2003), BEALE et al. (2006), HEIDEN et al. (2010), DIN 18040-3 (2014), JANECKO et al. (2016), HENNIG (2017).

Positiv für Barrierefreiheit	Negativ für Barrierefreiheit
<ul style="list-style-type: none"> - Bodenbelag aus gut befahrbaren Materialien: Beton(-platten) Bitumengebunden Wassergebundene Decken fugenarmes Verbundpflaster Betonplatten Asphalt - Boden nicht uneben Steinige oder schlammige Böden vermeiden - Keine Stufen o.ä. Hindernisse - Bodenbelag mit geringen Anrollwiderständen, erschütterungsarm und rutschticher, witterungsunabhängig gefahrlos befahrbar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Schlechte Beläge: Kies, Sand, Gras, Kopfsteinpflaster, keine starken Durchwurzelungen, nicht stark steinig schlammig

Neben der Wegebeschaffenheit von Wanderwegen sind auch die Neigungsverhältnisse für Mobilitätseingeschränkte Personen von Bedeutung. Höheren Neigungswerte stellen eine zusätzliche Erschwernis bei der Bewältigung von Höhenunterschieden dar. Eine Steigungsveränderung über 3% ist bereits für Personen mit Mobilitätseinschränkung bemerkbar (KELM et al. 2017). Die DIN-Norm 18040-3 „Barrierefreies Bauen – Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum“, auch berücksichtigt von KELM et al. (2017), verwendet 6% als Obergrenze für Neigungen auf maximal 10 m Segmentlänge. Sehr kurze Strecken von maximal 1 m Länge dürfen auch 12% Neigung aufweisen (DIN 18040-3 2014). Andere Quellen geben eine maximale Neigung von 4% vor (MATTHEWS et al. 2003, BEALE et al. 2006). Die Segmentlänge von 10 m wird hier verwendet. Dadurch wird die Einhaltung der DIN 18040-3 gegeben, gleichzeitig bietet die Segmentierung Vorteile in der Berechnung der Neigungswerte (KELM et al. 2017).

Aus den Anforderungen an Wanderwege für Mobilitätseingeschränkte Personen, durch Barrieren auf oder Neigungsverhältnisse von Wanderwegen, kann nun eine Einteilungsmatrix für Wanderwege erarbeitet werden, die diese in Barrierefrei und nicht Barrierefrei einteilt (Tab.6). Für die Freizeit- und Sportbeschäftigung Wandern gelten insbesondere die Geländeneigung (u.a. KELM et al. (2017)) und die Wegebeschaffenheit (MATTHEWS ET AL. 2003, BEALE ET AL. 2006) als Barriere, die es zu überwinden gilt. Die Neigungswerte entsprechen den in der DIN 18040-3 aufgeführten Werte. Die Einteilung der Oberflächeneigenschaften in Barrierefrei/nicht Barrierefrei erfolgt mittels Auflistung von A.HOPF auf Nullbarriere.de (Anhang Tab.6) und den Attributen der verwendeten Geodaten des Kreis Lippe (KREIMEIER et al. 2018) sowie NATURPARK TEUTOBURGER WALD/EGGEBIRGE (2015). Somit werden Neigungsbereiche zwischen 0-6% und die in Tab.4 beschriebenen Wegebeschaffenheitstypen Verbunddecke sowie befestigte, wassergebundene Wegebeläge als Barrierefrei klassifiziert und naturnahe und schlecht begehbar als nicht Barrierefrei, unabhängig ihrer Neigung. Ausgehend der in Tab.6 dargestellten Einteilungsmatrix wurden nun die Wege entsprechend ihrer Attributkombination angesprochen und in Barrierefrei/nicht Barrierefrei eingeteilt werden.

Tab.6: Matrix zur Bewertung der Barrierefreiheit von Wanderwegen, in Abhängigkeit von Wegebeschaffenheitstyp und Neigungsklasse.

Belagstyp/ Neigung	0 nicht erfasst	1 Naturnah	2 Befestigt	3 schlecht begehrbar	4 Verbunddecke
0-3%	keine Angabe	Nicht Barrierefrei	Barrierefrei	Nicht Barrierefrei	Barrierefrei
3-6%			Barrierefrei		
6-9%			Nicht Barrierefrei		Nicht Barrierefrei
> 9%			Nicht Barrierefrei		

2.4 GIS-technische Umsetzung der Barrierefreiheitsanalytik

Die Beantwortung der Fragestellung erfolgt unter Anwendung diverser GIS-Programme. Der Großteil der Auswertung, Interpretation und Darstellung erfolgt mit ESRI ArcGIS Pro 2.4. Für eine zielführende Beantwortung der Forschungsfrage müssen die verfügbaren Datensätze aufbereitet und prozessiert werden. Eine Zusammenfassung des gesamten Workflows in Form eines Flussdiagramms ist in Anhang Abb.17 dargestellt. Zunächst wurden die XYZ-Datensätze in ein ArcGIS-taugliches Format überführt. Dazu wurde das Tool „ASCII-3D to Feature Class“ aus der Toolbox „3D Analyst Tools“ verwendet. Dieses überführt die regelmäßig angeordneten XYZ-Punktinformationen in Point-FeatureClasses mit einer Z-dimensionalen Ausprägung. Da die XYZ-ASCII pro Datei nur ein Quadrat mit 2x2 km Kantenlänge abdeckt, sind die daraus resultierenden FeatureClasses dementsprechend 2x2 km groß. Es sind demzufolge 53 Point-FeatureClasses notwendig um das gesamte Untersuchungsgebiet abzudecken. Diese 53 Kacheln wurden mittels Merge zu einer flächendeckenden Point-FeatureClass vereinigt. Diese FeatureClass kann nun entweder in eine triangulierte Oberfläche (TIN) oder eine interpolierte Rasteroberfläche weiterverarbeitet werden. In dieser Arbeit wurden sowohl eine TIN-Oberfläche als auch eine Rasteroberfläche erzeugt. Beide Varianten haben sowohl ihre Vor- und Nachteile. Rasteroberflächen haben gegenüber TIN-Oberflächen den Vorteil einer höheren Performance bei gleicher räumlicher Abdeckung. TIN-Oberflächen brauchen länger für eine Darstellung in ArcGIS-Pro, sind aber mathematisch und geometrisch eindeutig und damit für die Berechnung von lokalen Neigungen geeignet. Anders verhält es sich bei Rasterdatensätzen - da dort nur diskrete Oberflächen und benachbarte Stützpunkte vorliegen und kein echtes Oberflächenmodell darstellen. Die TIN-Oberflächen wurden für die

Berechnung der Neigungsverhältnissen verwendet und die interpolierten Rasteroberflächen zur flächendeckenden Visualisierung der Höhen- und Neigungsverhältnisse.

Die Berechnung der Neigungsdaten ist in mehreren Schritten erfolgt. Mit dem XYZ-Point-Feature Daten wurde eine TIN-Oberfläche erzeugt (Create TIN). Dieses TIN wurde anschließend mittels eines Puffers (10 m Radius) auf die Umgebung der Wanderwege ausgeschnitten um die Performance in ArcGIS Pro zu verbessern.

Der Wanderwege-Datensatz (Linien-Feature im SHP-Format) wurde ebenfalls für die Untersuchung der Barrierefreiheit aufbereitet. Es wurden zunächst aus Gründen der Übersichtlichkeit überflüssige Attribute in der Attributtabelle eliminiert und der Datensatz auf die räumliche Ausdehnung des Untersuchungsgebietes zugeschnitten. Zudem wurden die Wanderwege in 10m-Segmente unterteilt um die Anforderungen der DIN 18040-3 gerecht zu werden. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass eventuell auftretende, kleinräumige Artefakte oder Ausreißer in der Neigungsberechnung minimiert werden können. Diese können z.B. auftreten, wenn bei der Filterung der LiDAR- Punktwolke nicht sauber in Bodenpunkte und sonstige Punkte unterteilt wird und somit einzelne Nicht-Bodenpunkte in der Punktwolke „schweben“. Die TIN-Höheninformationen und daraus abgeleiteten Neigungswerte wurden mittels „Add Surface Information“ auf die 10m langen Wanderwegesegmente übertragen, so dass für jedes 10m-Segment eine durchschnittliche Neigung dargestellt werden kann. Da Bauwerke im Verkehrsbereich, insbesondere Brücken und Tunnel, nicht Bestandteil des digitalen Geländemodell sind, mussten diese separat ermittelt werden. Dieses ist insbesondere dann wichtig, wenn Wanderwege Brücken queren, die aber nicht im digitalen Geländemodell erfasst sind. An diesen Stellen kommt es durch die fehlenden Bauwerke zu starken Veränderungen der Neigung. Dazu wurde das Basis-DLM mit den entsprechenden Datensätzen verwendet. Mittels einer SQL-Abfrage wurden die Attribute der Bauwerke im Verkehrsbereich abgefragt und anschließend mit den Wanderwegen verschnitten. Auf diesem Weg konnten eindeutig Bauwerke im Verkehrsbereich identifiziert werden, die von Wanderwegen beansprucht werden und der Einfluss auf die Neigungsberechnung bestimmt werden.

Zur Erfassung des Gesamtzustand der Wanderwege und zum Zwecke der Datenerhebung wurden einige statistische Parameter aus den Daten ermittelt: Gesamtlänge aller Wege, Wegelängen nach Neigung sowie nach Belagstyp und deren Kombinationen. Gleichzeitig wurde eine kartographische Darstellung der o.g. Merkmale erstellt um einen Überblick auf die

räumliche Dimension der Merkmalsausprägung zu erhalten. Zudem wurde ein visueller, stichprobenartiger Abgleich der Wegeverläufe und Wegebeschaffenheiten mit aus DOP-Aufnahmen erkennbaren Wegeverläufen durchgeführt, um die Lagegüte und Wegebeschaffenheitsangaben visuell zu überprüfen. Abschließend wurden die Merkmalskombinationen aus verschiedenen Neigungsklassen und Wegebeschaffenheitsklassen ausgewertet und die Werte wurden in ein Kreuzdiagramm überführt (Tab.6).

Weiterhin wurde zur Auswertung der räumlichen Verteilung bzw. Dichte der Barrierefreien bzw. nicht Barrierefreien Wanderwegesegmente das Tool „Line Density“ angewendet. Mit der Analyse der räumlichen Verteilung können Clusterungen ermittelt werden, also Bereiche, in denen Barrierefreie bzw. nicht Barrierefreie Wanderwegesegmente lokale Häufungen aufweisen. Außerdem wurden in einer weiteren SQL-Abfrage die Klassen der tatsächlichen Nutzungsarten des Basis-DLM identifiziert und für eine kartographische Darstellung aufbereitet.

Die Ermittlung der Streckenlängen der zusammenhängenden Wegesegmente ohne Änderung der Einteilung in Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei erfolgte mit Unterstützung des Dissolve-Tools in ArcGIS Pro. Dazu wurden die einzelnen Segmente gemäß ihrer Einteilung in Barrierefrei oder nicht Barrierefrei mit dem genannten Dissolve-Tool zusammengefasst. Räumlich nebeneinanderliegende Segmente einer Einteilung wurden demzufolge zu einem Element zusammengefasst. Abb.7 zeigt das konzeptionelle Vorgehen, die obere Linie zeigt schematisch die einzelnen Segmente nach Barrierefreiheit, getrennt durch Markersymbole. Die untere Linie zeigt die zusammengefassten Einzelsegmente zu einer einzelnen Linie pro Eigenschaft. Die einzelnen 10 m Segmente wurden also aufgelöst (ergo Dissolve) und können nach Streckenlänge ausgewertet werden.

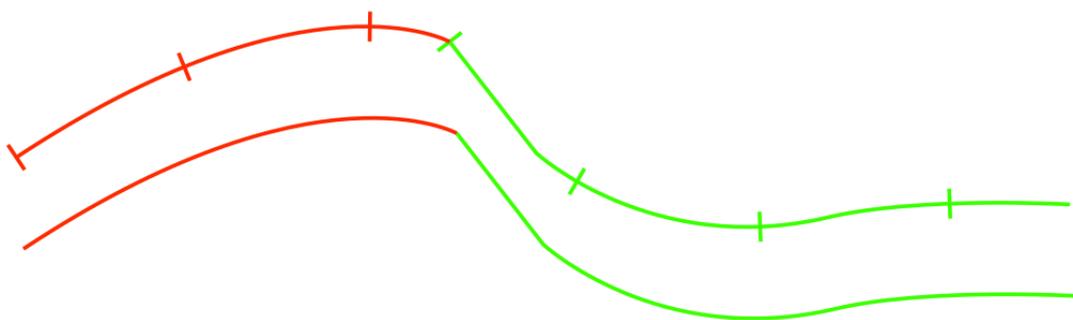


Abb.7: Schema der Dissolve-Bearbeitung zur Ermittlung der längsten Einzelsegmente

3 Ergebnisse

Das gesamte, untersuchte Wanderwegenetz hat eine Streckenlänge von insgesamt 166,8 km. Es wurden für jede der fünf Wegebefestigungsarten die entsprechende Streckenlänge ermittelt (Anhang Tab.7). Der Wertebereich 0 mit nicht erfassten Wegebefestigungsarten umfasst 48,9 km, das entspricht 29,3% der Gesamtstrecke. Der Wertebereich 1 mit naturnahen Wegen umfasst eine Strecke von 32,4 km, die 19,4% der Gesamtstrecke abdecken. Befestigte Wege des Wertebereiches 2 sind mit 45,8 km angegeben, das sind 27,4% der Gesamtstrecke. Schlecht begehbare Wege (Wertebereich 3) sind insgesamt 1,3 km lang und demzufolge mit 0,8% an der Gesamtstrecke beteiligt. Verbunddecken als Wegebefestigungsart erstrecken sich auf 38,2km beziehungsweise 22,9% der Gesamtstrecke. Abb.8 stellt die räumliche Lage und Verteilung nach Wegebefestigungsart dar.

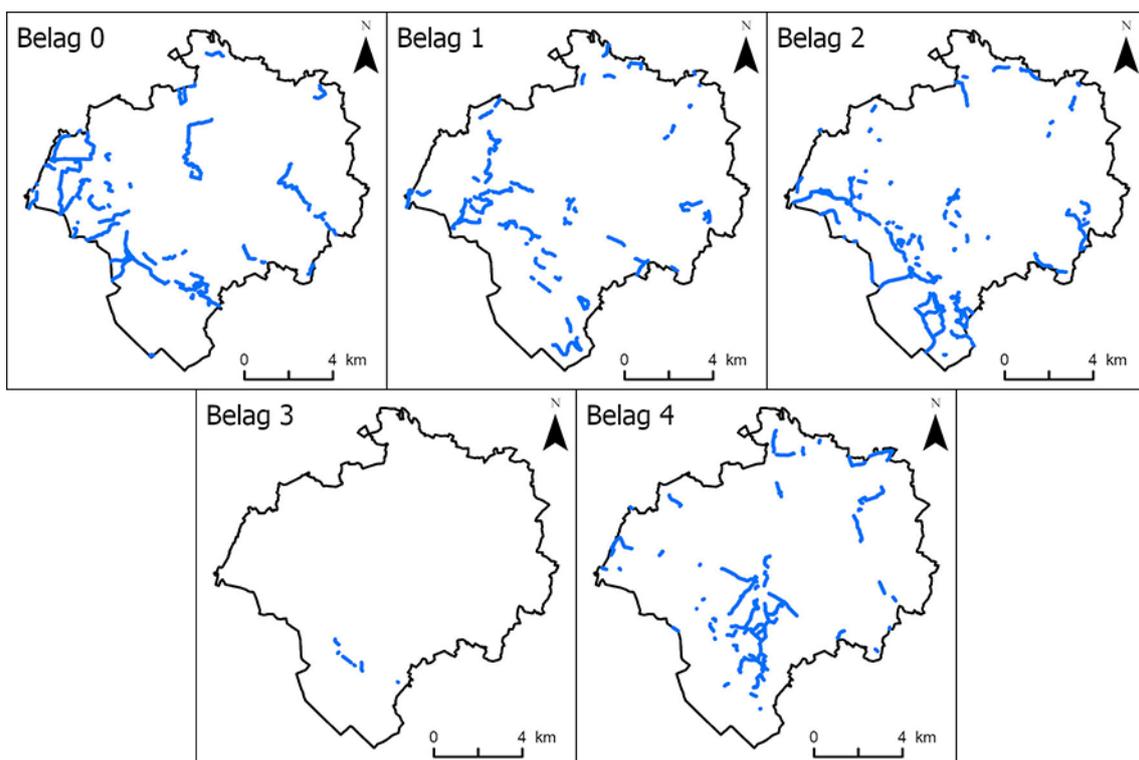


Abb.8: Lage der einzelnen Wegebefestigungstypen im Untersuchungsgebiet: Belagstyp 0 - Nicht erfasst, Belagstyp 1- Naturnaher Wegebefestigung, Belagstyp 2 - Befestigter Wegebefestigung, Belagstyp 3 - schlecht begehbare Wege, Belagstyp 4 – Verbunddecken. Der Verlauf der Wege wird mit blauen Linien dargestellt.

Weiterhin wurde das Wanderwegenetz nach Geländeneigung klassifiziert. Die Neigung wurde in Klassen von 0-3%, 3-6%, 6-9% und >9% eingeteilt (Anhang Tab.8). 40,2 km haben eine Neigung im Bereich 0-3%, das entspricht 24,1% der gesamten Wanderwegelängen. Im Neigungsbereich 3-6% liegen 50,0 km des Wegenetzes, also 29,9% der Gesamtstrecke. Eine Neigung von 6-9% haben 34,8 km oder 20,9% des Wegenetzes. Eine Neigung größer als 9% haben 41,8 km oder 25,0% der gesamten Wegelängen. Abb.9 beschreibt dabei die räumliche Verteilung und Lage der jeweiligen Wege der entsprechenden Neigungsklassen im Untersuchungsgebiet.

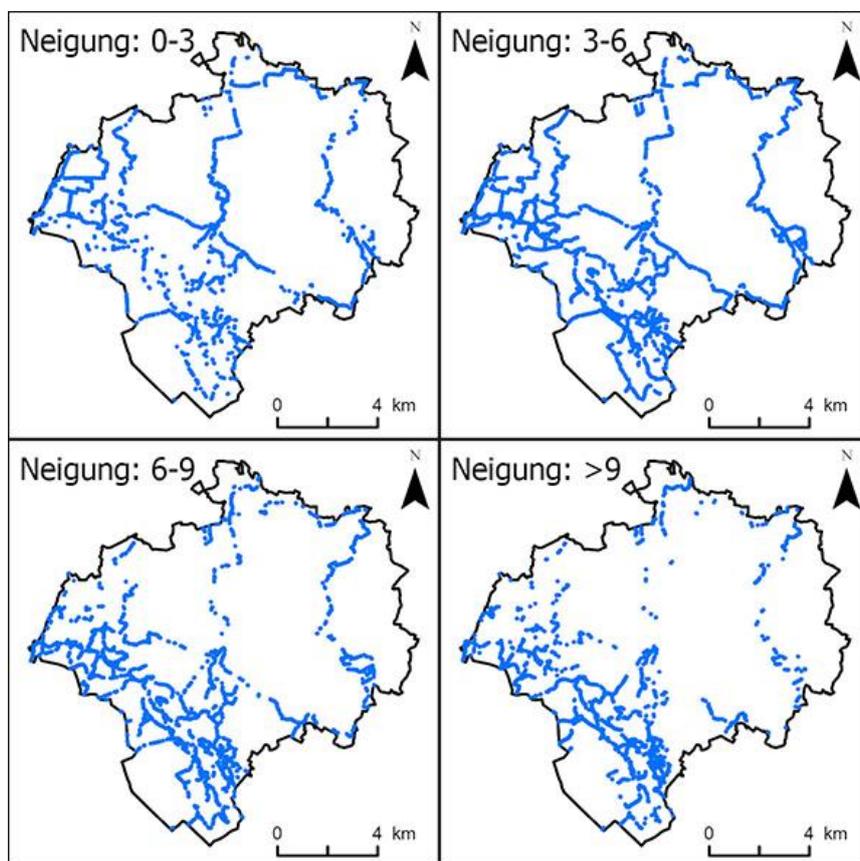


Abb.9: Darstellung der räumlichen Lage und Verteilung der Neigungsklassen auf den Wanderwegen mittels blauer Linien. Neigung 0-3 umfasst die Neigungsklasse 0-3%, Neigung 3-6 entspricht der Klasse 3-6%, Neigung 6-9 entspricht der Klasse 6-9% und Neigung >9 der Klasse >9%.

Tab.7: Ermittelte Streckenlängen sowie deren prozentualen Anteilen (*in kursiv*) an der Gesamtweglänge in Abhängigkeit von Wegebenbeschaffenheitstyp und Neigungsklasse, farblich codiert nach Barrierefrei(grün), nicht Barrierefrei (rot) sowie nicht erfassbare Bewertung (blau).

Belagstyp/ Neigung	0 - nicht erfasst	1 - Naturnah	2 - Befestigt	3 - schlecht begehbar	4 - Verbunddecke
0-3% [km]	13,64	4,86	9,76	0,38	11,51
Anteil 0-3%	<i>8,18%</i>	<i>2,92%</i>	<i>5,85%</i>	<i>0,23%</i>	<i>6,90%</i>
3-6% [km]	13,36	10,36	14,76	0,51	10,98
Anteil 3-6%	<i>8,01%</i>	<i>6,21%</i>	<i>8,85%</i>	<i>0,30%</i>	<i>6,58%</i>
6-9% [km]	8,99	7,72	10,18	0,28	7,66
Anteil 6-9%	<i>5,39%</i>	<i>4,63%</i>	<i>6,10%</i>	<i>0,17%</i>	<i>4,59%</i>
> 9% [km]	12,97	9,46	11,15	0,13	8,13
Anteil > 9%	<i>7,78%</i>	<i>5,67%</i>	<i>6,68%</i>	<i>0,08%</i>	<i>4,87%</i>

Ausgehend der Literaturrecherche in Kapitel 2.3 wurde eine Matrix zur Einteilung der Merkmalskombination aus Wegebenbeschaffenheitstyp und Neigungsklasse erzeugt (Tab.6). Für die Kombinationen aus Wegebenbeschaffenheitstyp und Neigung ergeben sich verschiedene Streckenlängen der Wanderwege, die mit Hilfe dieser Matrix in Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei eingeteilt werden konnten (Tab.7). Demnach konnten 47,0 km (28% der Gesamtstrecke) als Barrierefrei klassifiziert werden, 70,8 km (42% der Gesamtstrecke) als nicht Barrierefrei und 49,0 km (29% der Gesamtstrecke) als nicht erfasst klassifiziert werden. Bei der räumlichen Darstellung der Barrierefreien (Abb.10) bzw. der nicht Barrierefreien (Abb.11) Wanderwegen, konnte festgestellt werden, dass die Analyse im Allgemeinen das Wanderwegenetz abbildet (Abb.5) und keine Lücken im erfassbaren Wanderwegenetz vorhanden sind. Lücken liegen nur dort vor, wo Wanderwege verlaufen, deren Wegebenbeschaffenheit nicht erfasst ist.

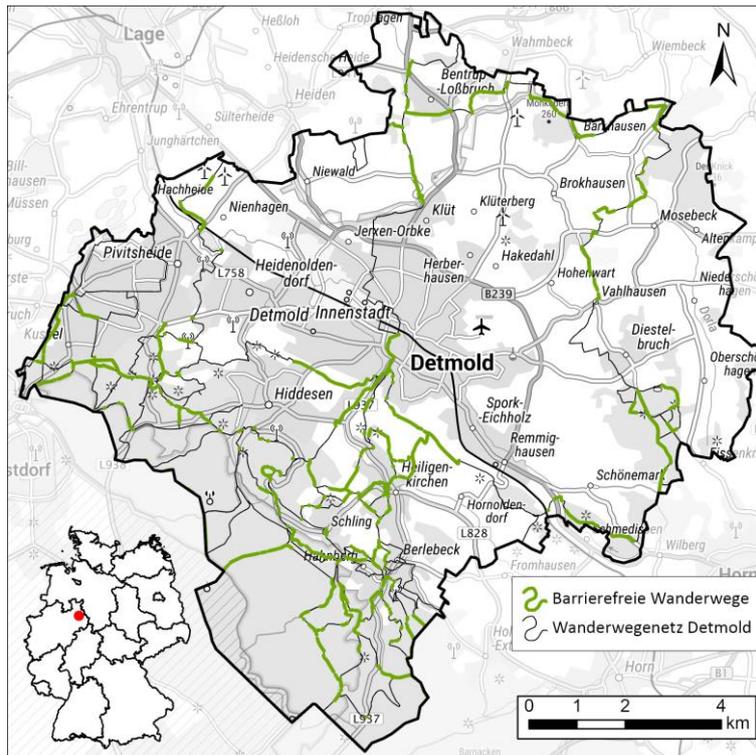


Abb.10: Alle Wege, deren Merkmalskombination aus Wegebeschaffenheit und Neigung eine Einstufung als Barrierefrei nach Tab.6 erlauben. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

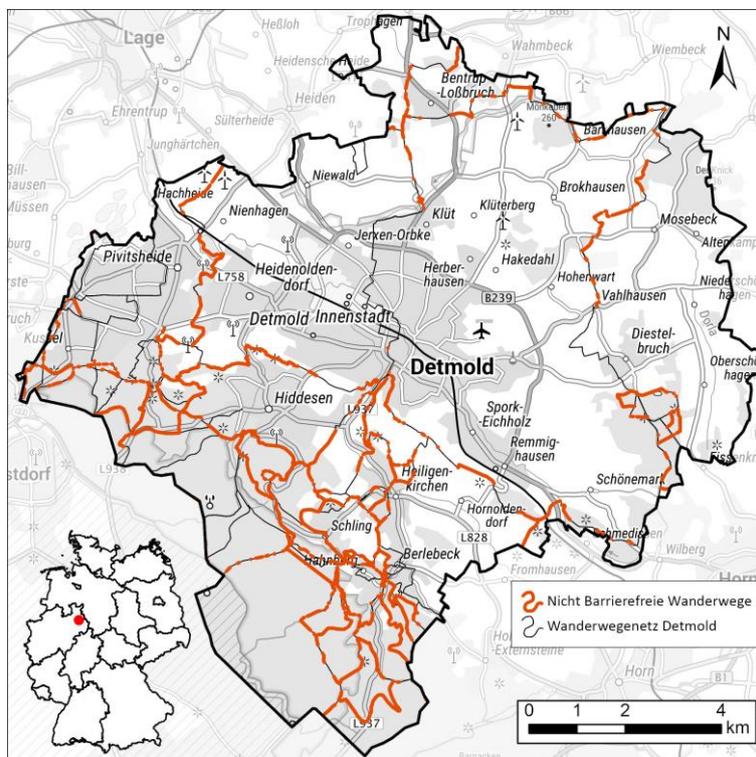


Abb.11: Alle Wege, deren Merkmalskombination aus Wegebeschaffenheit und Neigung keine Einstufung als Barrierefrei nach Tab.6 erlauben. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

Eine Analyse der Liniendichte („Line Density“) wurde durchgeführt um eine eventuelle Clusterung Barrierefreier bzw. nicht Barrierefreier Wanderwege aufzudecken. Durch die Clusterungsanalyse kann festgestellt werden, ob Wanderwege und deren Segmente einer bestimmten Merkmalskombination an bestimmte Landschaftsräume gebunden sind. Mit dieser Analyse wird die Dichte von linearen Features in einer Nachbarschaft berechnet, bezogen auf Ausgabe-Rasterzellen (ESRI Inc 2020B). Diese zählt die Anzahl an Wegesegmenten in einer definierten Fläche. Als Ergebnis wird ein Raster ausgegeben, dass die Dichte der untersuchten Linien-Features an jedem Punkt des Untersuchungsgebiet angibt.

Nicht erfasste Wanderwege sind vermehrt an urbane Gebiete gebunden, insbesondere in den Stadtteilen am südwestlichen Rand (Abb.12). Eine sehr hohe Konzentration ist in dem Stadtteil Berlebeck zu beobachten. Barrierefreie Wanderwege liegen demnach vermehrt in urbanen Gebieten, insbesondere im Stadtkern, am westlichen und auch teilweise am nördlichen Rand der Stadt (Abb.13). Nicht Barrierefreie Wege sind häufiger in den höheren Lagen am südlichen Rand des Untersuchungsgebiet im Teutoburger Wald zu finden (Abb.14).

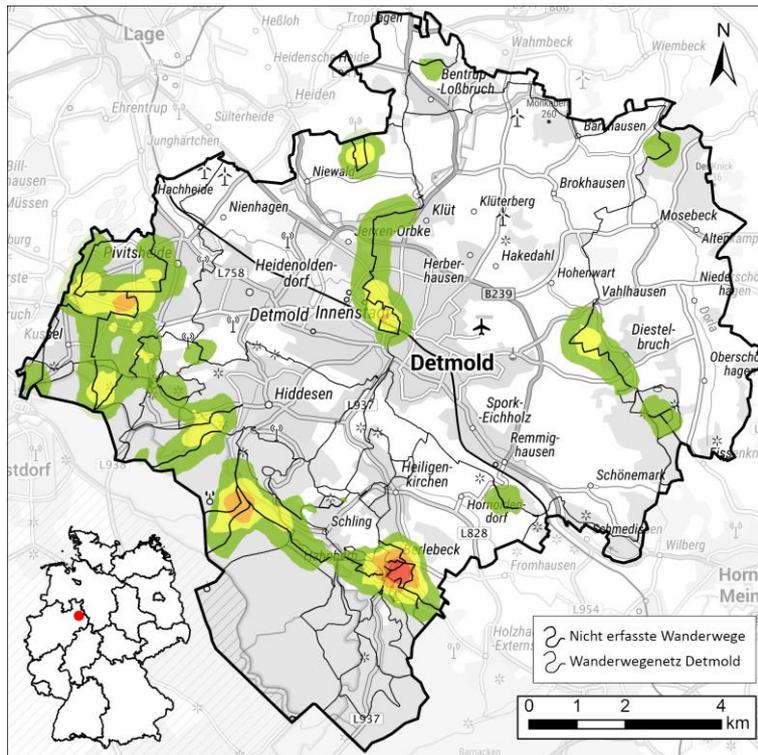


Abb.12: Dichteverteilung bzw. Clusterung nicht erfasster Wanderwege, grüne Flächen haben eine geringere Dichte, rote Flächen haben eine hohe Dichte an nicht erfassten Wanderwegen. Diese sind zusätzlich mit einer breiteren Linie hervorgehoben. Hintergrundkarte (BKG 2020)

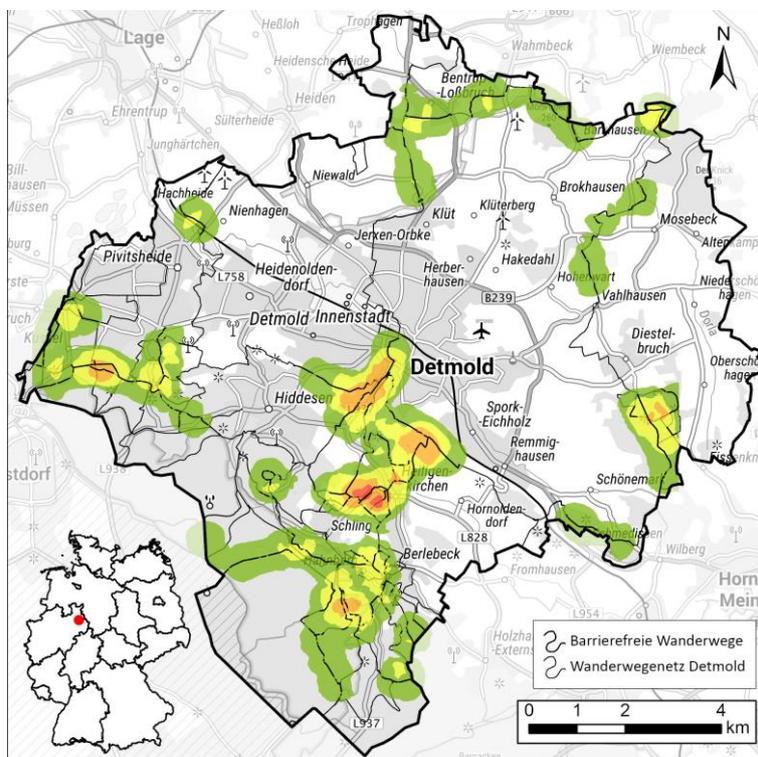


Abb.13: Dichteverteilung bzw. Clusterung Barrierefreier Wanderwege, grüne Flächen haben eine geringere Dichte, rote Flächen haben eine hohe Dichte an Barrierefreien Wanderwegen. Diese sind zusätzlich mit einer breiteren Linie hervorgehoben. Hintergrundkarte (BKG 2020)

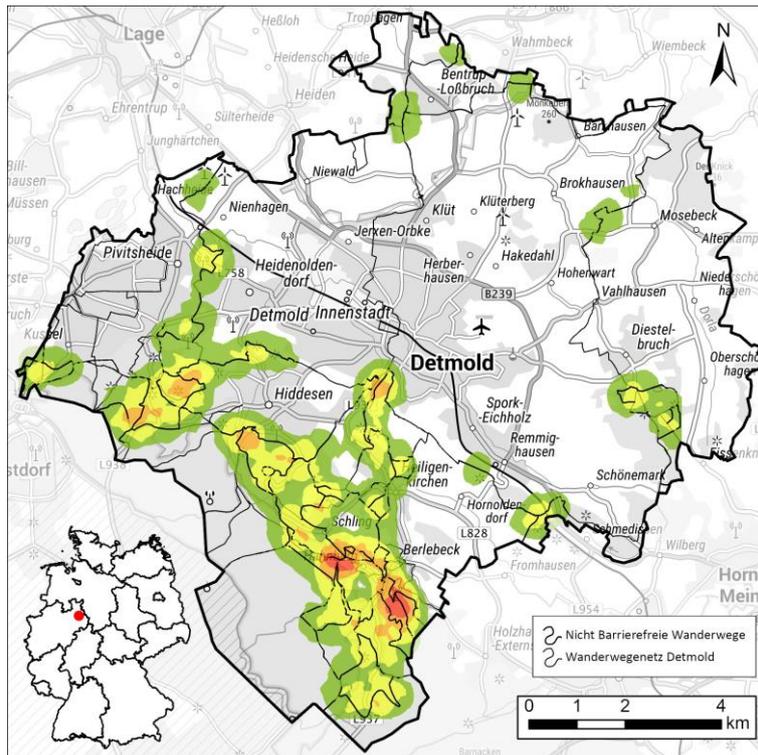


Abb.14: Dichteverteilung bzw. Clustering nicht Barrierefreier Wanderwege, grüne Flächen haben eine geringere Dichte, rote Flächen haben eine hohe Dichte an nicht Barrierefreien Wanderwegen. Diese sind zusätzlich mit einer breiteren Linie hervorgehoben. Hintergrundkarte (BKG 2020)

Festzustellen ist, dass keine Wanderwege existieren, die durchgehend als Barrierefrei beziehungsweise als nicht Barrierefrei klassifizierbar sind. Dieses ist dem Fakt geschuldet, dass Wanderwege auch naturell ein Wechsel ihrer Eigenschaften haben. Es gibt keine Wanderwege, die durchgängig eine Bodenbeschaffenheit bzw. Geländeneigung aufweisen. Man kann nur von zusammenhängenden 10 m-Segmenten sprechen, bei denen kein Wechsel der Einstufung in Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei erfolgt. Diese zusammenhängenden Segmente sind also auf ihrer gesamten Länge als Barrierefrei erfahrbar bzw. nicht erfahrbar. Die längsten zusammenhängenden Segmente, die als Barrierefrei klassifizierbar sind, liegen in der Umgebung des Stadtkernes und sind 0,97 km lang. Die längsten, zusammenhängenden Segmente nicht Barrierefreier Wegesegmente sind 1,85 km lang und sind im Süden des Untersuchungsgebiet gelegen. Abb.15 zeigt die längsten, zusammenhängenden Wegesegmente, die als Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei klassifiziert werden. Alle andern zusammenhängenden Wegesegmente sind weniger lang.

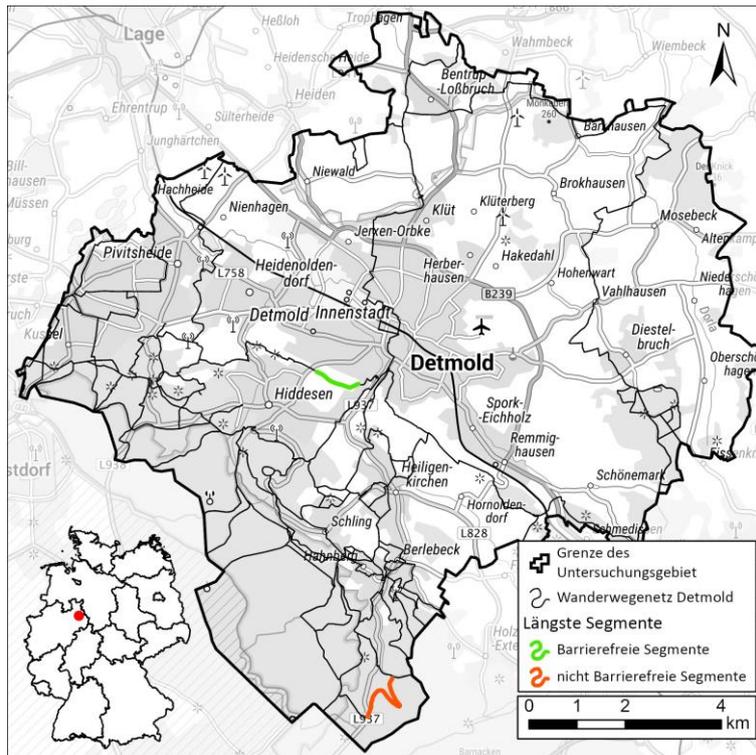


Abb.15: Längste, zusammenhängende Wegesegmente ohne Wechsel der Einteilung in Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei. Links unten ist die Ausdehnung des Untersuchungsgebiet im deutschlandweiten Kontext farblich dargestellt. Hintergrundkarte (BKG 2020)

4 Diskussion

Ist es möglich, mit Hilfe amtlicher Geodaten Wanderwege zu identifizieren, die für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen passierbar sind? Diese Forschungsfrage wurde Eingang gestellt und soll hier diskutiert und beantwortet werden.

Die Literaturrecherche in Kapitel 1.2 hat gezeigt, dass unterschiedliche Anforderungen an Wegebeschaffenheiten und Geländeneigungen für die Barrierefreiheit von Wanderwegen für Personen mit Mobilitätseinschränkungen bestehen. Die Untersuchung der Geländeneigung wurde mit Höhendaten des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt, die Wanderwege und deren Wegebeschaffenheit wurden vom Kreis Lippe zur Verfügung gestellt. Die aus den Höhendaten abgeleiteten Neigungsverhältnisse und die erfassten Wegebeschaffenheiten wurden in einer Matrix aufgetragen und in Merkmalskombinationen eingeteilt, die eine Einteilung in Barrierefrei und nicht Barrierefrei ermöglichen.

4.1 Barrierefreie und nicht Barrierefreie Wanderwege

Durch die Literaturrecherche ergibt sich eine Matrix (Tab.6) mit deren Hilfe Wanderwege in „Barrierefrei“, „nicht Barrierefrei“ und „nicht erfasst“ eingeteilt und zusammengefasst werden können. Nicht erfasste Wege sind räumlich nicht homogen verteilt. Die größten Häufigkeiten liegen dabei in den Randbereichen der Stadt Detmold (Abb.12). Die räumliche Verteilung der barrierefreien Wanderwege zeigt ebenfalls einige Clusterbildungen. So liegen viele barrierefreie Wanderwege in der Innenstadt der Stadt Detmold, inmitten urbaner Strukturen. Einige weitere Clusterbildungen zeichnen sich in den Randlagen der Stadt ab, hauptsächlich in den Stadtteilen. In den ruralen Bereichen sind barrierefreie Wanderwege weniger häufig vertreten (Abb.13). Die meisten Wanderwege, die als nicht Barrierefrei identifiziert worden sind, liegen in den südlichen Lagen des Untersuchungsgebiet, in denen auch die größten Neigungen ermittelt wurden (Abb.14). Hier zeigt sich der Vorteil der Untersuchung der Wanderwege durch das Tool „Line Density“. Es konnte gezeigt werden, dass die lokalen Clusterungen der Barrierefreiheit bzw. nicht Barrierefreiheit auch dort aufgetreten sind, wo entsprechend des städtebaulichen bzw. naturräumlichen Charakters die meisten Barrierefreien Wanderwege bzw. nicht Barrierefreien Wanderwege liegen. So wurde bestätigt, was auch schon in der Literaturrecherche erkannt wurde – barrierefreie Wanderwege sind mit urbanen Gebieten vergesellschaftet und die wissenschaftliche Aufarbeitung hat dementsprechend den Fokus auf urbane Gebiete gesetzt.

In dieser Arbeit wurden die Wanderwege, ausgehend von der DIN 18040-3, in 10 m Segmente geteilt und beschrieben. Da Wanderwege selten konstante Wegebeschaffenheitsklassen oder Neigungsverhältnisse aufweisen, ermöglicht diese Segmentierung eine genauere Beschreibung der Barrierefreiheit. Allerdings kann daher nicht, der Wanderweg als Ganzes als Barrierefrei oder nicht Barrierefrei klassifiziert werden.

Während die Analyse der Wegebeschaffenheitstypen zeigt, dass die Merkmale (nicht erfasst, Naturnah, befestigt, schlecht begehbar, Verbunddecken) gleichmäßig verteilt sind, ist auffallend, dass sich die Clusterung der Neigungsklassen mit zunehmender Neigung vom urbanen in den ruralen Raum verschiebt. Geringe Neigungen (0-3%) sind tendenziell häufiger in flachen, mit urbanen Strukturen vergesellschafteten Lagen zu finden, während hohe Neigungen (6-9%, >9%) mehr in den bergigen und ruralen Gebieten im Norden und Süden liegen. Diese Verteilung wird auch auf den nach Neigung klassifizierten Wanderwegen bestätigt (Abb.9) und ist zu erwarten, da die walddreichen Höhenlagen des Teutoburger Waldes

naturgemäß größere Fluktuationen der Neigungswerte unterworfen sind. Urbane Strukturen in Detmold liegen eher in flachen Gebieten, in denen Neigungswerte keinen hohen Schwankungen unterworfen sind.

4.2 Einordnung der Ergebnisse im Kontext der Literatur

Die Literaturrecherche hat aufgezeigt, dass Wandern und Bewegung im öffentlichen Raum gesundheitliche und mentale Vorteile bieten, die allen Menschen gleichermaßen zur Verfügung stehen müssen (UN-BRK (2006), WOLF et al. (2014)). Diese Selbstverpflichtung, allen Menschen gleichermaßen Zugang zu allen Ressourcen zu ermöglichen, ist in diversen völkerrechtlichen und staatlichen Verträgen festgehalten (Tab.1). Für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen existieren insbesondere einige räumliche Barrieren, die eine Teilhabe am öffentlichen Leben und damit auch an Freizeitgestaltung und Sport erschweren. Für die Freizeit- und Sportbeschäftigung Wandern gelten insbesondere die Geländeneigung (z.B. KELM et al. (2017)) und die Wegebeschaffenheit (MATTHEWS et al. 2003, BEALE et al. 2006) als Barriere, die es zu überwinden gilt.

Die Literaturrecherche hat auch aufgezeigt, dass nahezu alle Veröffentlichungen zur Detektion, Analyse oder Umgehung von räumlichen Barrieren einen ausgeprägten Fokus auf urbane Bereiche aufweisen. Es existieren nur wenige Veröffentlichungen, die explizit die Kombination aus Wandern bzw. Naturerholung und Barrierefreiheit zum Thema haben.

Unsere Analyse hier zeigt jedoch, dass sich nicht barrierefreie Wanderwege vor allem in ruralen Gebieten der Stadt Detmold befinden. Diese befinden sich zum Teil in den höheren Lagen des Teutoburger Waldes, welche naturgemäß durch höhere Neigungen charakterisiert sind. Bereits HENNIG (2017) beschreibt, dass die barrierefreie Gestaltung von Wanderwegen in höheren Lagen schwierig ist, da sie in Abhängigkeit der Topographie steht. Weiterhin diskutieren JANECKO et al. (2016) sowie HEIDEN et al. (2010) die Gestaltung der Wanderwege für ein barrierefreies Erleben von Naturerholung im ruralen Raum und heben die Bedeutung von barrierefreien Bodenbeschaffenheiten hervor. Die Norm DIN 18040-3 (2014) geht höchstens kurz auf eine Charakteristik von Naturräumen ein, die für Menschen mit sensorischen oder motorischen Einschränkungen erlebbar und wahrnehmbar sein sollte.

In der Kombination GIS und Barrierefreiheit sind bisher mehrere Systeme vorgestellt worden, die entweder eine Detektion/Erfassung von Barrieren im urbanen Raum (BERGNER et al. (2011), KELM et al. (2017), MOBASHERI et al. (2017), EDINGER et al. (2019)) oder eine Routenberechnung

zur Vermeidung von Barrieren im urbanen Raum (MATTHEWS et al. 2003, BEALE et al. 2006, MÜLLER et al. 2010, HAHMANN et al. 2016) zum Ziel haben. Die vorgestellte Kombination aus einer Detektion von Barrieren in Form von Geländeneigungen und Wegebeschaffenheiten auf ausgewählten Wanderwegen ist in dieser Form noch nicht so durchgeführt worden. Daher ist eine Einordnung der Ergebnisse in den Forschungskontext schwierig. Weiterhin wird ein Vergleich zwischen Barrieren im urbanen Raum und im ruralen Raum erschwert, da in den jeweiligen Bezugsräumen unterschiedliche Barrieren im Fokus stehen. Im urbanen Raum sind Wegebeschaffenheiten und Geländeneigungen (abhängig des Stadtbild) weniger ein Problem, sondern vermehrt der ohnehin begrenzte Verkehrsraum und das Überwinden kurzer, aber großer Höhenunterschiede zwischen verschiedenen Ebenen des urbanen Raum (Unterführungen, Brücken, Treppen, Tunnel etc.) (KELM et al. 2017). Zudem steht im urbanen Raum die Erreichbarkeit und Nutzung einzelner Gebäude und die barrierefreie Nutzung städtischer Einrichtungen im Vordergrund, während im ruralen „Wander“-umfeld eher die möglichst effektive Fortbewegung und das Naturerleben bzw. -verstehen entlang einer vorgegebenen Route im Vordergrund steht (HENNIG 2017).

4.3 Betrachtung potentieller Fehlerquellen der räumlichen Analyse

Bei der Analyse der Wanderwege treten naturgemäß einige Unregelmäßigkeiten auf, die zum größten Teil auf die verwendeten Datensätze zurückzuführen sind.

Brücken und andere baulichen Elemente im Verkehrsbereich sind ein Problem bei der Berechnung der Neigungsverhältnisse, da diese nicht Bestandteil des digitalen Geländemodells sind (KELM et al. 2017). In dieser Arbeit wurden 12 bauliche Elemente detektiert, die sich mit der Lage der Wanderwege schneiden (Anhang Abb.17). Davon sind 8 Elemente als Brücken ausgewiesen, die 80 m der insgesamt 166 km des Wanderwegenetzes beeinflussen könnten. Aufgrund dieser geringen Beeinflussung stellen bauliche Elemente für diese Arbeit keine Bedeutung dar.

Da eine räumliche Diskrepanz zwischen der durch die Wegewarte erfassten Wegeverläufe und der realen Wegeverläufe auftreten kann, kann es im Endeffekt zu einer fehlerhaften Einteilung der Wanderwege kommen. Die tatsächlich verwendeten Wegeverläufe können durch TIN-Flächen höherer oder niedriger Neigung geführt werden und deren verfälschte Neigungswerte annehmen.

Der in Anhang Abb.18 exemplarisch dargestellte Teil eines Wanderweges verläuft südwestlich des Hermannsdenkmal durch ein Waldgebiet. Bei Betrachtung der Neigungsverhältnisse in der Abbildung zeichnet sich recht deutlich eine flache Struktur im TIN ab, die aufgrund ihrer Lage und Aussehen im DOP als Wanderweg identifiziert werden kann. Die dazu verlaufende blau dargestellte Linie stellt den Verlauf der verwendeten Wanderwegeinfrastruktur dar.

Verursacht werden diese Problematiken durch technisch bedingte Ungenauigkeiten der durch die Wegewarte verwendeten GPS-Empfänger, insbesondere durch Signalstörungen der GNSS-Satelliten in Waldgebieten, Laufzeitfehler durch multiple Reflexionen der GNSS-Signale in Baumkronen oder durch atmosphärische Effekte (TOMAŠTÍK et al. 2016). Durch diese Effekte ist die Lagegenauigkeit der Wegeerfassung dezimiert und damit auch die Qualität der Analytik. Weiterhin können Wanderwege, die auf Straßen verlaufen, in der Lageerfassung nicht exakt beschrieben sein und neben den Straßen geführt werden, die eine potentiell schlechtere Neigung aufweisen. Der Wanderwegeabschnitt in Anhang Abb.19 veranschaulicht beispielhaft diese Problematik. Nicht erfasste Wanderwege sind zu 30% an der Gesamtlänge beteiligt und liegen hauptsächlich in den Stadtteilen, wo durchaus anzunehmen ist, dass dort ein hoher Anteil an Verbunddecken als Wegebeschaffenheit vorherrscht. Deshalb kann die Überlegung angestellt werden, dass diese nicht erfassten Wege zu einem Teil die prozentualen Verhältnisse der Streckenlängen von barrierefreien Wanderwegen verzerren. Abhilfe schaffen könnte eine (teil-)Bestimmung der Wegebeschaffenheit nicht erfasster Wege mittels Methoden der Fernerkundung.

Diese genannten Beispiele dienen exemplarisch für fehlerhafte Barrierefreiheits-einordnungen der Wanderwege aufgrund Ungenauigkeiten der räumlichen Lage der einzelnen Wanderwege. Die angesprochenen Fehler treten an verschiedenen Stellen des Wanderwegenetz. Wichtig für eine Steigerung der Untersuchungsqualität ist die Lagegenauigkeit der Wanderwege. Diese Untersuchung hat aber gezeigt, dass dieses nicht immer der Fall ist. Dort müssten die Wanderwege händisch nachbearbeitet werden, was bei größeren Wanderwegenetzen schnell zu einem nicht unerheblichen Zeit- und Ressourcenanspruch führen kann. In diesem Fall wäre es eventuell sinnvoller, die bestehenden Wanderwege über eine (teil-)automatisierte Prüfung und Korrektur z.B. mittels der Produkte des amtlichen Liegenschaftskatasters oder der Amtlichen Basiskarte (ABK) durchzuführen. Weiterhin könnten auch zusätzliche Datensätze in die Analyse einbezogen werden, zum Beispiel durch VGI generierte Daten (OpenStreetMap), um beispielweise nach

MÜLLER et al. (2010) eine flächendeckende OSM-basierte Detektion von Barrieren durchzuführen. SCHOOF et al. (2012) haben für ausgewählte Gebiete in Niedersachsen die Datenbestände von OpenStreetMap mit den ATKIS-Datensätzen der niedersächsischen Landesvermessung verglichen und festgestellt, dass die OSM-Datenqualität in großen Städten auf Augenhöhe mit den ATKIS-Datensätzen ist. Im ländlichen Raum hingegen sind die OSM-Datensätze sowohl quantitativ als auch qualitativ den ATKIS-Datensätzen unterlegen. Diese Ergebnisse sind für diese Arbeit insbesondere von Bedeutung, da diese die Fokussierung auf amtliche Geodaten in dieser Thesis unterstützen.

Werden Wanderwege als eine Abfolge von 10 m-Segmenten aufgefasst, die einen definierten Start- und Endpunkt haben und einem stringenten Wegeverlauf folgen, wird deutlich, dass in dieser Konstellation keine Wanderwege durchgehend als Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei identifiziert worden sind (vgl. dazu auch Abb.15.). Dieses entspricht auch der Natur der Dinge, Wanderwege sind per se nicht über ihre gesamte Länge auf eine Wegebeschaffenheit bzw. Geländeneigung beschränkt. Die Einschränkung auf 10 m-Segmente ist in dieser Arbeit notwendig, um die Vorgaben gemäß DIN-18040 umzusetzen und um die Vielfalt an Wegebeschaffenheiten und Geländeneigungen abbilden zu können. So wurden Wanderwege in 10 m Segmente aufgeteilt, wobei für jedes 10 m-Segment eine isolierte Analyse der Barrierefreiheit erfolgt ist. Damit steht jedes Wegesegment für sich und kann nicht als Wanderweg betrachtet werden. Weiterhin wäre denkbar, dass durch die 10 m-Segmentierung der Wanderwege einzelne, kleinräumige morphologische Elemente nicht in der Neigungsberechnung erfasst werden, wenn diese kleiner als 10 m sind und direkt in ein 10 m Segment fallen. Abb.16 veranschaulicht diese Problematik.

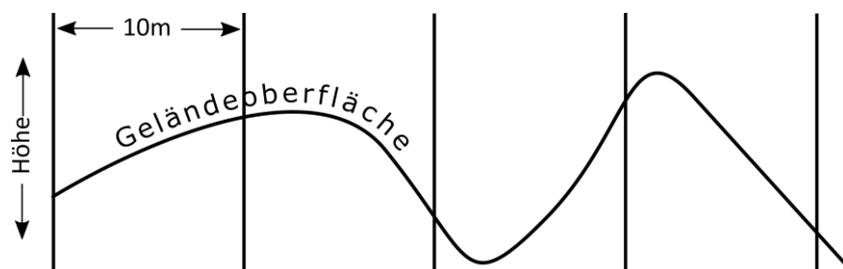


Abb.16: Schematische Darstellung der 10m Segmentierung inkl. Relief im Profil

4.4 Nicht untersuchte Barrierefreiheitselemente

Eine allumfassende Betrachtung der Barrierefreiheit für verschiedene Personen- bzw. Behindertengruppen war nicht Ziel dieser Arbeit, es wurden ausschließlich die Barrieren Wegebeschaffenheit und Geländeneigung für Personen mit Mobilitätseinschränkungen betrachtet.

Die begleitende Infrastruktur der Wanderwege (Einkehrmöglichkeiten, Toiletten, Aussichtspunkte, Rastmöglichkeiten (Bänke, Hütten), Informationstafeln etc.) wurde nicht weiter beachtet, da die dort auftretenden Barrieren nicht immer eine räumliche mess- und beschreibbare Komponente besitzen und somit für dieses Thema uninteressant sind. Zu diesen Merkmalen gehören unter anderem barrierefreie Toiletten, unterfahrbare Tische sowie Bedienelemente jeglicher Art auf Augenhöhe. So werden etwa auch keine taktilen Leitstreifen für sehbehinderte Personen einbezogen. Auch Handläufe und Geländer werden nicht mit einbezogen, um ein paar Beispiele zu nennen. Dieses ist hauptsächlich damit begründet, dass diese Elemente nicht erfasst worden sind.

So wurde auch nicht angestrebt, dass die Wegebeschaffenheiten durch Fernerkundungsmethoden detektiert wird, insbesondere in den Bereichen, wo keine Informationen über die Wegebeschaffenheiten vorliegen. Weiterhin wurde nicht angestrebt, kleinräumige Barrieren im Wegebereich zu detektieren und in die Analyse einzubeziehen. Zu diesen Barrieren zählen unter anderem starke Baumwurzeln, die gegebenenfalls durch die Wegeoberfläche durchbrechen, Absperrungen wie z.B. Umlaufsperrren oder auch Treppen und Stufen. Diese wurden einerseits nicht durch Wegewarte erfasst, andererseits sind diese teilweise zu klein um automatisiert erfasst zu werden.

4.5 Ergebnisse im Kontext der Forschungsfrage

In Kapitel 1.3 wurde die übergeordnete Forschungsfrage für diese Untersuchung definiert und daraus weitere Teilfragen abgeleitet. Es konnte gezeigt werden, dass die übergestellte Forschungsfrage grundsätzlich positiv beantwortet werden kann. Es konnte dargestellt werden, dass unter ausschließlicher Verwendung amtlicher Geodaten Wanderwege und deren Segmente identifiziert werden können, die für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen passierbar sind. Es hat sich herausgestellt, dass die insbesondere digitalen Höhenmodelle der Landesvermessung und die digitalen, nach Kriterien des DWV

aufbereiteten Wanderwege gut für eine Analytik geeignet sind. Mittels Literaturrecherche wurden Geländeneigung und Wegebeschaffenheiten als primäre Parameter identifiziert, über die eine Einschätzung der Wegesegmente in Barrierefrei oder nicht Barrierefrei durchgeführt werden kann. Es wurde ein Workflow zur Datenaufbereitung und Analyse erstellt, mit dem es potentiell möglich ist, unabhängig des Untersuchungsgebiet eine Analyse der Barrierefreiheit von Wanderwegen durchzuführen, vorausgesetzt die Datensätze entsprechen den in dieser Untersuchung festgelegten Kriterien. In dieser Untersuchung konnten auch räumliche Häufungen bestimmter Merkmalskombinationen mittels Line-Density nachgewiesen werden. Barrierefreie Wanderwege sind demnach vermehrt an urbane Strukturen gebunden, während nicht Barrierefreie Wanderwege häufiger durch rurale Gebiete verlaufen. Neben amtlichen Geodaten könnten gegebenenfalls auch weitere, frei verfügbare Datensätze verwendet werden. Mehrere Literaturquellen beziehen sich in ihrer Herangehensweise auch auf OpenStreetMap-Datensätze. Da es sich aber hierbei um VGI-Datensätze handelt, die einem ständigen Wandel unterliegen sind und die Datenqualität stark von ihrer Lage relativ zu größeren urbanen Strukturen abhängig ist (SCHOOF et al. 2012), wurde in dieser Untersuchung von einer Verwendung derselben abgesehen.

5 Zusammenfassung

5.1 Zusammenfassung zur Untersuchung der Barrierefreiheit

In dieser Thesis wurden das Wanderwegenetz der Stadt Detmold auf ihre Barrierefreiheit für Personen mit Mobilitätseinschränkungen untersucht. Dafür wurden amtliche Geodaten verwendet. Aus den Höhendaten der Landesvermessung wurden Geländeneigungsdaten entlang der Wanderwege abgeleitet. Weiterhin wurden die verwendeten Wanderwege durch ehrenamtliche Wegewarte erfasst. Neben dem tatsächlichen Verlauf wurde auch die Wegebeschaffenheit beschrieben. Mittels Literaturrecherche wurden Neigungs- und Wegebeschaffenheitsklassifizierungen identifiziert und diese in einer Einteilungsmatrix überführt. Ausgewählte Kombinationen aus Neigung und Wegebeschaffenheit wurden in Barrierefrei bzw. nicht Barrierefrei eingeteilt und auf die Wanderwege übertragen. Lokale Häufungen (Hot Spots) von Barrierefreien bzw. nicht Barrierefreien Wanderwegen wurden mittels Line Density identifiziert und visualisiert. Von den insgesamt 166 km Wanderwegen wurden 47 km als Barrierefrei, 71 km als nicht Barrierefrei und 49 km als nicht erfasst klassifiziert. Es wurden Häufungen barrierefreier Wanderwege in urbanen Gebieten und nicht

barrierefreier Wanderwege in ruralen Gebieten festgestellt. Mit dieser Thesis wurde die grundsätzliche Machbarkeit einer Analyse der Barrierefreiheit von Wanderwegen für Personen mit Mobilitätseinschränkungen bestätigt und demonstriert.

5.2 Allgemeine Einordnung der Forschungsfrage und Ausblick

Diese Thesis hat eine potentielle, sicherlich aber auch ausbaufähige Methode präsentiert, mit der Wanderwege relativ schnell und vergleichsweise unkompliziert auf ihre Eignung für Menschen mit Mobilitätseinschränkung untersucht werden kann. Diese Untersuchung hat aber auch gezeigt, dass die vorgestellte Methodik nicht frei von Problemen ist. Dieses liegt nicht zuletzt auch an der Qualität der Lage und der attributiven Parameter sowie der notwendigen Quantität der verwendeten Geodaten. Die Datenmenge resultiert hier in einer langen Berechnungszeit zur Bewältigung der Datenmengen und die Erzeugung der abgeleiteten Produkte (Höhenmodelle, Neigungsmodelle) aus den Daten (Anhang Abb.17). Im Sinne einer performanten Analyse wäre es sinnvoll bei einem entsprechenden Produktiveinsatz die ressourcenintensiven Datensätze DGM und DOP vorab zu prozessieren und bereitzuhalten für eine Analytik. Weiter wäre für eine Skalierung der Analytik denkbar, diese automatisiert über eine ETL-Engine oder Python-basiert als Geschäftsprozess bereitzustellen, so dass nur die zu untersuchenden Wege und Wanderwegenetze eingebracht werden müssen und am Ende der Prozesskette eine Beurteilung des Wanderwegenetzes steht.

Mithilfe der vorgestellten Methode kann es letztendlich gelingen, ein Wanderwegenetz relativ schnell einzuordnen, einen Gesamtüberblick über das Wegeinventar zu erstellen und Bereiche zu identifizieren und einzugrenzen, für die eine intensivere In-Situ Untersuchung der Barrierefreiheit in Frage kommen. So können Bereiche hervorgehoben werden, die eine höhere Dichte an flachen Wegesegmenten aufweisen, viele Abschnitte in Verbunddeckenbauweise oder wassergebundenen Oberflächenmaterialien aufweisen und landschaftlich reizvoll sind. Diese Merkmalskombinationen gilt es zu identifizieren und bei Entscheidungsträgern vorzustellen um letztendlich das gemeinsame übergeordnete Ziel zu erreichen – dass alles Allen offensteht. Diese Arbeit hat damit einen Ansatz aufgezeigt, der hoffentlich Anstoßwirkung für öffentliche Träger und Verbände hat und das Thema einer barrierefreien Teilhabe am öffentlichen (Wander-)Leben in den Fokus rückt.

6 Literaturverzeichnis

- ADV 2008. Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok Version 6.0). *Erläuterungen zum ATKIS® Basis-DLM*. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.
- AGG 2006. *Allgemeines Gleichbehandlungsgesetz vom 14. August 2006 (BGBl. I S. 1897), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 3. April 2013 (BGBl. I S. 610) geändert worden ist*.
- ASHARYANTO, H., SOEKSMANTONO, B. & WIKANTIKA, K. Three Dimensional City Building Modelling with LiDAR Data (Case Study: Ciwaruga, Bandung). Asian Conference on Remote Sensing, 2015 Quezon City, Metro Manila, Philippines.
- BARTON, J., HINE, R. & PRETTY, J. 2009. The health benefits of walking in greenspaces of high natural and heritage value. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 6, 261-278
- BEALE, L., FIELD, K., BRIGGS, D., PICTON, P. & MATTHEWS, H. 2006. Mapping for wheelchair users: Route navigation in urban spaces. *Cartographic Journal*, 43, 68-81
- BENTELE, V. 2017. *Die UN-Behindertenrechtskonvention - Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen*, Beauftragte der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen.
- BERGNER, B., ZEILE, P., PAPASTEFANOU, G. & RECH, W. 2011. Emotionales Barriere-GIS als neues Instrument zur Identifikation und Optimierung stadträumlicher Barrieren. *Angewandte Geoinformatik*, 430-439
- BGG 2002. *"Behindertengleichstellungsgesetz vom 27. April 2002 (BGBl. I S. 1467, 1468), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 10. Juli 2018 (BGBl. I S. 1117) geändert worden ist"*.
- BKG. 2020. *WMS TopPlusOpen* [Online]. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Available: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/webdienste/topplus-produkte/wms-topplusopen-mit-layer-fur-normalausgabe-und-druck-wms-topplus-open.html> [Accessed 20.05.2020].
- BRYAN, R. B. 1977. Influence of soil properties on degradation of mountain hiking trails at Grovelsjon. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, 59, 49-65
- BUELL, C. 1965. Hiking aids physical, mental growth of blind children. *New Outlook for the Blind*, 59, 175-176
- CAFFIER, A., ELSNER, C., RATH, C., ROBENS, F., SEIDEL, J. & WILL, K. 2017. Offene Geobasisdaten für NRW. *zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 142
- CHURCH, R. L. & MARSTON, J. R. 2003. Measuring accessibility for people with a disability. *Geographical Analysis*, 35, 83-96
- CRPD 2006. *Convention on the Rights of Persons with Disabilities*, United Nations.
- DESTATIS. 2019. *Gemeindeverzeichnis-Informationssystem* [Online]. Statistisches Bundesamt. Available: <https://www.statistikportal.de/de/produkte/gemeindeverzeichnis>.

- DIN 18024-1 1998. DIN 18024-1:1998-01 Barrierefreies Bauen - Teil 1: Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze; Planungsgrundlagen Berlin: Beuth-Verlag.
- DIN 18040-3 2014. DIN 18040-3:2014-12 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 3: Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum. Berlin: Beuth-Verlag.
- DSFT eV. 2020a. *Reisen für alle - Informationen für Menschen mit Gehbehinderung und Rollstuhlfahrer* [Online]. Deutsches Seminar für Tourismus e.V.,. Available: https://partner-api.reisen-fuer-alle.de/bfbdpdfs/service_provider/3568/Rollstuhl_Tourist_Information_Lippe__Detmold.pdf [Accessed 22.03.2020].
- DSFT eV. 2020b. *Über das Projekt - Barrierefreiheit als Qualitäts- und Komfortmerkmal in Deutschland* [Online]. Deutsches Seminar für Tourismus e.V.,. Available: https://www.reisen-fuer-alle.de/ueber_das_projekt_304.html [Accessed 08.03.2020].
- EDINGER, J., HOFMANN, A., WACHNER, A., BECKER, C., RAYCHOUDHURY, V. & KRUPITZER, C. WheelShare: Crowd-Sensed Surface Classification for Accessible Routing. International Workshop on Technologies and Solutions for Urban Mobility, 2019 2019. IEEE.
- ESRI INC 2020a. *Feature class basics* [Online]. Available: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/feature-class-basics.htm#GUID-B3DEF160-9131-44D9-B43A-BA4F5D53370C> [Accessed 14.06.2020].
- ESRI INC 2020b. *Funktionsweise von "Liniendichte"* [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-line-density-works.htm> [Accessed 14.03.2020].
- GEOBASIS NRW 2019. *Bereitstellung 3D-Messdaten im neuen Format* [Online]. Available: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/opendata/news/031/index.html [Accessed 08.03.2020].
- GEOBASIS NRW 2020a. *Digitales Geländemodell* [Online]. Available: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/hoehenmodelle/gelaendemodell/index.html [Accessed 08.03.2020].
- GEOBASIS NRW 2020b. *Höhenmodelle* [Online]. Available: https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/hoehenmodelle/index.html [Accessed 08.03.2020].
- HAHMANN, S., ZIPF, A., ROUSELL, A., MOBASHERI, A., LOOS, L., RYLOV, M., STEIGER, E. & LAUER, J. 2016. GIS-Werkzeuge zur Verbesserung der barrierefreien Routenplanung aus dem Projekt CAP4Access. *Journal für Angewandte Geoinformatik*, 2, 328-333
- HEIDEN, H. G. & ARNADE, S. 2010. Mindestanforderungen zum barrierefreien Naturerleben - Vorschlag für einen Forderungskatalog zum Abschluss von Zielvereinbarungen in 5 Modulen und 35 Bausteinen. In: JOB.-MEDIENBÜRO (ed.). Bundeskompetenzzentrum Barrierefreiheit e.V. (BKB).
- HENNIG, S. 2017. Naturbezogene Erholung für Menschen mit Behinderung. *Natur und Landschaft*, 2017, 348-355

- HOPF, A. *DIN 18024-1 Grünanlage und Spielplatz* [Online]. nullbarriere.de. Available: <https://nullbarriere.de/din18024-1-aussenanlage.htm> [Accessed 15.02.2020].
- IFD ALLENSBACH. 2019. *Anzahl der Personen in Deutschland, die in der Freizeit wandern, nach Häufigkeit von 2015 bis 2019 (in Millionen)* [Online]. Statista GmbH. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/171162/umfrage/haeufigkeit-von-wandern-in-der-freizeit/> [Accessed 07. Februar 2020].
- IT.NRW 2017a. Kommunalprofil Detmold, Stadt. Landesdatenbank NRW: Landesbetrieb für Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW), Geschäftsbereich Statistik, .
- IT.NRW 2017b. Kommunalprofil Lippe, Kreis. Landesdatenbank NRW: Landesbetrieb für Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW), Geschäftsbereich Statistik, .
- JANECZKO, E., JAKUBISOVÁ, M., WOŹNICKA, M., FIALOVA, J. & KOTÁSKOVÁ, P. 2016. Preferences of people with disabilities on wheelchairs in relation to forest trails for recreational in selected European countries. *Folia Forestalia Polonica*, 58, 116-122
- KELM, T., BEYEL, S., MÜLLER, C. & KLEIN, U. Identifizierung von Steigungen als Barrieren für mobilitätseingeschränkte Personen. REAL CORP 2017 12-14.09 2017 Vienna. 251-259.
- KOZUMPLIKOVA, A. & TRTILKOVA, H. 2010. *Methodology of the evaluation of the accessing forest roads for a group of people in wheelchairs*, Brno, Mendel Univ, Dept Landscape Management.
- KREIMEIER, T. & OSTRU, S. 2018. Wanderwegenetz des Kreis Lippe. Kreis Lippe - Fachbereich 6 Geoinformation, Kataster und Immobilienbewertung - unveröffentlicht.
- LADSTÄTTER, P. 2015. Geschäftsmodelle für Open-Data-Strategien des amtlichen Geoinformationswesens. *zfv-Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 140, 70-75
- LAND NRW. 2019a. *3D-Messdaten Laserscanning (LAS) – Paketierung: Gemeinden* [Online]. Opengeodata.nrw: Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen Referat 324 Geoinformationszentrum. Available: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/hm/3dm_l_las/ [2019].
- LAND NRW. 2019b. *Digitales Basis-Landschaftsmodell Shape* [Online]. Opengeodata.nrw: Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen Referat 324 Geoinformationszentrum. Available: <https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/dlm/basis-dlm/> [2019].
- LTM GMBH. 2020. *Wandern im Land des Hermann* [Online]. Lippe Tourismus&Marketing GmbH. Available: <https://www.land-des-hermann.de/natur-aktiv/wandern> [27.02.2020].
- MATTHEWS, H., BEALE, L., PICTON, P. & BRIGGS, D. 2003. Modelling Access with GIS in Urban Systems (MAGUS): capturing the experiences of wheelchair users. *Area*, 35, 34-45
- MOBASHERI, A., DEISTER, J. & DIETERICH, H. 2017. Wheelmap: the wheelchair accessibility crowdsourcing platform. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2, 27
- MÜLLER, A., NEIS, P., AUER, M. & ZIPF, A. Ein Routenplaner für Rollstuhlfahrer auf der Basis von OpenStreetMap-Daten. Konzeption, Realisierung und Perspektiven. *Angewandte Geoinformatik*, 2010.

- NATURPARK TEUTOBURGER WALD EGGEGBIRGE. 2009. *Barrierefreie Wanderwege im Naturpark Teutoburger Wald/Eggegebirge* [Online]. Naturpark Teutoburger Wald/Eggegebirge,. Available: https://www.naturpark-teutoburgerwald.de/wp-content/uploads/2016/10/Flyer_barrierefreie_Wanderwege_01.pdf [Accessed 27.02.2020].
- NATURPARK TEUTOBURGER WALD/EGGEGBIRGE 2015. Kartierung der lippischen Wanderwege. nicht veröffentlicht: Naturpark Teutoburger Wald/Eggegebirge und Kreis Lippe.
- NEUMEYER, E. 2019. Qualitätsweg Wanderbares Deutschland. Deutscher Wanderverband Service GmbH.
- OSTRAU, S. 2009. *Konzept zur Harmonisierung und Präsentation von Nutzungsdaten auf Grundlage des 3A-Modells*. Institut für Geodäsie und Geoinformation - Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- QUACK, H.-D., HALLERBACH, B., HERRMANN, P., NEUMEYER, E. & DIECKS, U. 2010. Grundlagenuntersuchung Freizeit- und Urlaubsmarkt Wandern. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.
- RICHTLINIE 2006/54/EG 2006. Richtlinie 2006/54/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juli 2006 zur Verwirklichung des Grundsatzes der Chancengleichheit und Gleichbehandlung von Männern und Frauen in Arbeits- und Beschäftigungsfragen.
- SCHOOF, M., BEHNCKE, K. & EHLERS, M. 2012. ATKIS-Basis-DLM und OpenStreetMap – Ein Datenvergleich anhand ausgewählter Gebiete in Niedersachsen. *FOSSGIS2011 - Anwenderkonferenz für Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme*,. Heidelberg (DE).
- SGB IX 2016. *Sozialgesetzbuch Neuntes Buch – Rehabilitation und Teilhabe von Menschen mit Behinderungen – (Artikel 1 des Gesetzes v. 23. Dezember 2016, BGBl. I S. 3234) (Neuntes Buch Sozialgesetzbuch -SGB IX)*.
- SHOENFELD, Y., SHAPIRO, Y., PORTUGEEZE, D., MODAN, M. & SOHAR, E. 1977. Maximal backpack load for long-distance hiking. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 17, 147-151
- SHOENFELD, Y., UDASSIN, R., SHAPIRO, Y., BIRENFELD, C., MAGAZANIK, A. & SOHAR, E. 1978. Optimal back-pack load for short distance hiking. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 59, 281-284
- SOZIALHELDEN E.V & KRAUTHAUSEN, R. 2010. *Wheelmap.org* [Online]. Available: <https://wheelmap.org/> [Accessed 07.02.2020].
- TEUTOBURGER WALD TOURISMUS. 2020. *Tourismus für alle im Teutoburger Wald* [Online]. OstwestfalenLippe GmbH. Available: https://tourismus.teutoburgerwald.de/fileadmin/Medien/Tourismus.Teutoburgerwald.de/Projekte/Barrierefreie-Leistungsketten/Leitfaeden/Praxisleitfaden__2018_Web_FINAL.pdf [Accessed 26.02.2020].
- TOBLER, W. 1993. Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling: Non- Isotropic Geographic Modeling; Speculations on the Geometry of Geography; and Global Spatial Analysis (93-1). *NCGIA Technical Reports*. National Center for Geographic Information and Analysis.

- TOMAŠTÍK, J., TOMAŠTÍK, J., SALOŇ, Š. & PIROH, R. 2016. Horizontal accuracy and applicability of smartphone GNSS positioning in forests. *Forestry - An International Journal of Forest Research*,
- TWV.e.V. 2020. *Wegenetz* [Online]. Teutoburger Wald Verband.e.V., Available: http://www.teutoburgerwaldverein.de/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=105 [Accessed 27.02.2020].
- UN-BRK 2006. *Gesetz zu dem Übereinkommen der Vereinten Nationen vom 13. Dezember 2006 über die Rechte von Menschen mit Behinderungen sowie zu dem Fakultativprotokoll vom 13. Dezember 2006 zum Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen*, Vereinte Nationen.
- WACHSMUTH, W. & WOLK, H. 1935. Practical training - On sport accidents and sport injuries - 5 Marching, hiking and army sport. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 61, 917-920
- WOLF, I. D. & WOHLFART, T. 2014. Walking, hiking and running in parks: A multidisciplinary assessment of health and well-being benefits. *Landscape and Urban Planning*, 130, 89-103

7 Anhang

7.1 Anhang 1: Tabellarischer Auszug der Inhalte des BasisDLM

Anhang Tab.1 Inhalte des BasisDLM (auszugsweise), ohne Angaben der Objektartennummer

Objektartengruppen	Objektarten
Flurstück, Lage, Punkte	
Angabe zur Lage	AX_Lagebezeichnung
Gebäude	
Angaben zum Gebäude	AX_Gebaeude
Tatsächliche Nutzung	
Tatsächliche Nutzung - Siedlung	AX_Wohnbauflaeche
	AX_IndustrieUndGewerbeflaeche
	AX_Halde
	AX_Bergbaubetrieb
	AX_TagebauGrubeSteinbruch
	AX_FlaecheGemischterNutzung
	AX_FlaecheBesondererFunktionalerPraegung
	AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche
	AX_Friedhof
Tatsächliche Nutzung - Verkehr	AX_Strassenverkehr
	AX_Strassenverkehr
	AX_Strassenachse
	AX_Fahrbahnachse
	AX_Fahrwegachse
	AX_Platz

	AX_Bahnverkehr
	AX_Bahnstrecke
	AX_Flugverkehr
	AX_Schiffsverkehr
Tatsächliche Nutzung - Vegetation	AX_Landwirtschaft
	AX_Wald
	AX_Gehoelz
	AX_Heide
	AX_Moor
	AX_Sumpf
	AX_UnlandVegetationsloseFlaeche
	AX_FlaecheZurZeitUnbestimmbar
Tatsächliche Nutzung - Gewässer	AX_Fliessgewaesser
	AX_Wasserlauf
	AX_Kanal
	AX_Gewaesserachse
	AX_Hafenbecken
	AX_StehendesGewaesser
	AX_Meer
Bauwerke, Einrichtungen und sonstige Angaben	AX_BauwerkImVerkehrsbereich
	AX_Strassenverkehrsbereich
	AX_WegPfadSteig
	AX_Bahnverkehrsanlage
	AX_SeibahnSchwebebahn
	AX_Flugverkehrsanlage
	AX_EinrichtungenFuerDenSchiffsverkehr
	AX_BauwerkImGewaesserbereich
Besondere Vegetationsmerkmale	AX_Vegetationsmerkmal
Besondere Eigenschaften von Gewässern	AX_Gewaessermerkmal
Besondere Angaben zum Verkehr	AX_Netzknoten
	AX_Nullpunkt
	AX_Abschnitt
	AX_Ast
Besondere Angaben zum Gewässer	AX_Wasserspiegelhoehe
	AX_SchiffahrtslinieFaehrverkehr
	AX_Gewaesserstationierungsachse
	AX_Sickerstrecke
Relief	
Reliefformen	AX_BoeschungKliff
	AX_Boeschungsflaeche
	AX_DammWallDeich
	AX_Hoehleneingang
	AX_Duene
	AX_Hoehenlinie

7.2 Anhang 2: Tabellarischer Auszug aus der XYZ-Punktdatenbeschreibung

Anhang Tab.2 Produkte und Punkttypen (Punkttypenkürzel fett markiert), nach Geobasis.NRW DGM Nutzerinfo abgeleitet

Produkt	Bezeichner	Punkttypen
DGM1L	dgm1l- l pb*_1_nw.xyz.gz dgm1l- l pn b *_1_nw.xyz.gz dgm1l- l pub*_1_nw.xyz.gz dgm1l- a b*_1_nw.xyz.gz dgm1l- a w*_1_nw.xyz.gz dgm1l- a g*_1_nw.xyz.gz dgm1l- b rk*_1_nw.xyz.gz	Bodenpunkte, Last-Pulse-Boden = Ergebnis der Filterung Herausgefilterte Nichtbodenpunkte, Last-Pulse Nichtboden Unterbodenpunkte, z.B. Kellerschacht (wenn vorhanden) Aufgefüllte Bodenpunkte (wenn vorhanden) Aufgefüllte Wasserflächen (wenn vorhanden) Aufgefüllte Gebäudeflächen (wenn vorhanden) Gefilterte Brückenpunkte oben (wenn vorhanden)
DOM1L	dom1l- f p*_1_nw.xyz.gz dom1l- a w*_1_nw.xyz.gz	First-Pulse-Oberflächen-Daten Aufgefüllte Wasserflächen (wenn vorhanden)
DGM1	dgm1*_2_nw.xyz.gz	Beinhaltet die Punktarten lpb, ab, aw und ag aus dem DGM1L, dargestellt in einem regelmäßigen Gitter.

7.3 Anhang 3: Attributierung der Wege / Codierung der Wegeigenschaften

Anhang Tab.3 Attributierung der Wanderwege-Shape-Datei

Attribut	Beschreibung	Attributwerte vorhanden?
object_id	Eindeutige, numerische Identifizierung	Ja
abschnitt	Name oder Nummer des Wegeabschnitt	Ja
wegename	Klarname des Weges	Ja
trailid	Nummer der Wege, die den Abschnitt teilen	Ja
category	Wegekatgorie: (europäischer Fernwanderweg, überregionaler Wanderweg, Hauptwanderweg, Gebietswanderweg, Ortsweg,)	Ja
einstell	Einstelldatum	Ja
aktuell	Aktualisierungsdatum	Ja
prozess	Nicht dokumentiert	Ja
belag	Wegebeschaffenheit des Wegeabschnitt in codierter Form	Ja
on_street	Wegeabschnitt auf Straße	Ja
beside_street	Wegeabschnitt neben Straße	Ja
stgefaelle	nicht dokumentiert	Nein
prozent	nicht dokumentiert	Nein
ansprech	Name des Ansprechpartners für den Wegeabschnitt/Wegewart	Nein
ansprechid	ID-Nummer des Ansprechpartners	Nein
erinnerung	Erinnerungsdatum	Nicht vollständig
kontrolle	Kontrolldatum	Nicht vollständig
freigabe	nicht dokumentiert	Nein
landkreis	Landkreis, in dem der Wegeabschnitt liegt	Nein
gemeinde	Gemeinde, in dem der Wegeabschnitt liegt	Nein
extern	nicht dokumentiert	Ja
handbedarf	Handlungsbedarf ja oder nein	Ja
bedarfgrund	Grundlage für den Handlungsbedarf	Nein
link	Verweis auf PDF-Erfassungsbogen des Wegeabschnitt	Nein
the_geom	Geometrie im WKT-Format	Ja

Anhang Tab. 4 Attributwerte für Wegebeschaffenheit

Codierter Attributwert	Attributbezeichnung gemäß Dokumentation
0	nicht erfasst
1	Naturnaher Weg
2	Befestigter Weg mit Feinabdeckung
3	Schlecht begehbarer Wegebelag
4	Verbunddecken

7.4 Anhang 4: Anforderungen an barrierefreie Wanderwege

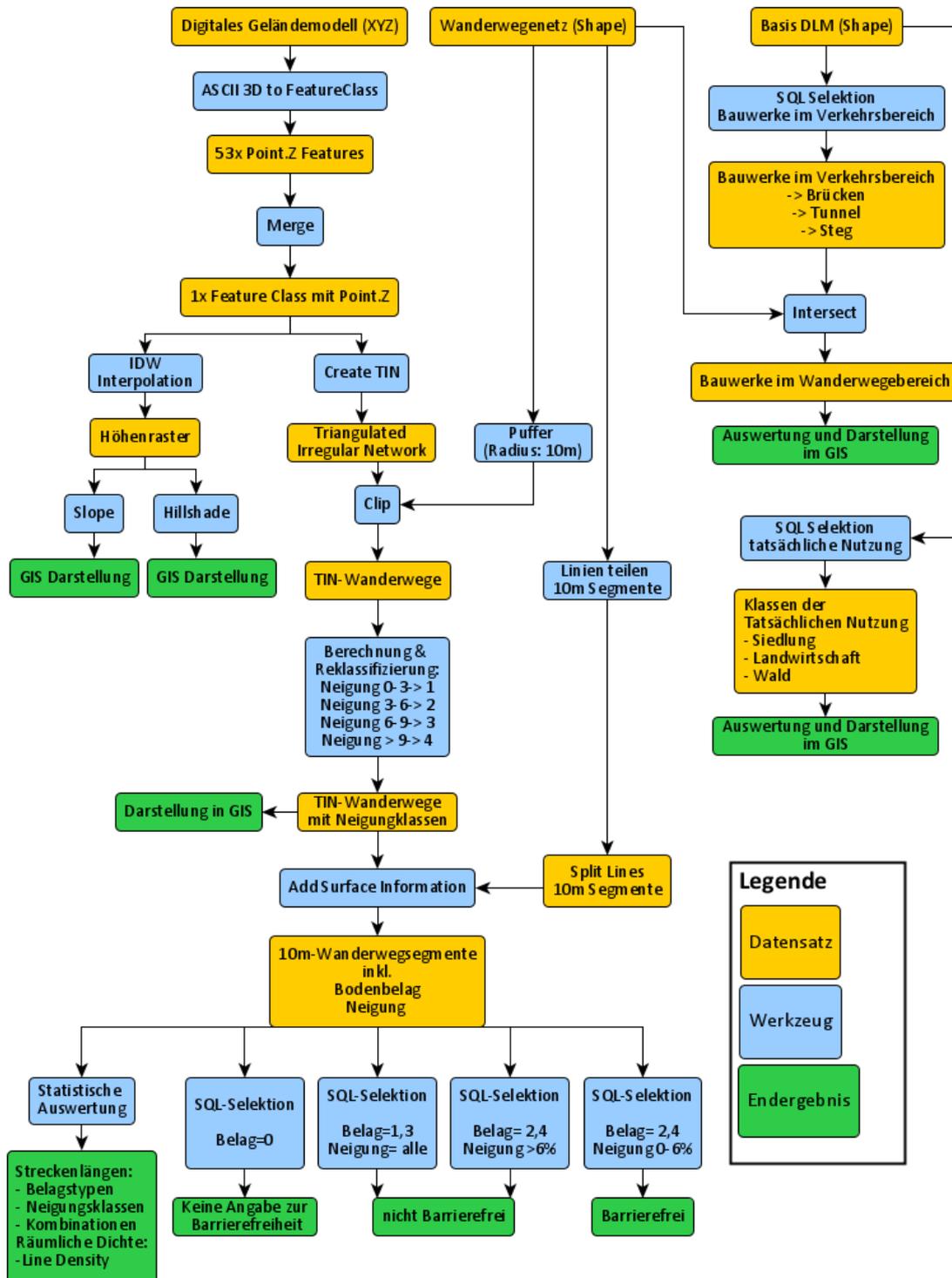
Anhang Tab.5 Auszüge aus dem Forderungskatalog „Mindestanforderungen zum barrierefreien Naturerleben“ an barrierefreie Wanderwege, (HEIDEN et al. 2010), Baustein 5, Modul 3.

Element	Erklärung
Wegbreite / Lichte Höhe (Lichtraumprofil):	Breite: mind. 1,20 m – 1,80 m x Höhe: 2,30m Oberflächenbeschaffenheit: eben (max. Schwellenhöhe 3 cm); rutschticher, kein Sand oder grober Kies, keine starke Durchwurzelung; ausgeführt durch wassergebundene Decken, Holzbohlenwege (Querverlegung, Spalten max.: 0,5 cm), Gitterroste (möglichst engmaschig); Asphalt, fugenarmes glattes Verbundpflaster.
Engstellen / Ausweichstellen / Umlaufstellen	an Engstellen mind. 0,90 m Weg-breite über eine Länge von 1,0 m; Ausweichstellen: Sofern ein Weg schmaler als 1,80 m ist, sollten in Sichtweite Begegnungsstellen von mindestens L: 1,80 x B: 1,80 m eingerichtet werden.
Neigung (Gefälle)	Querneigung: max. 2 Prozent, Längsneigung: max. 6 Prozent (Bei topografisch vorhandenem größerem Gefälle sollten die Gäste über die entsprechenden Angaben informiert werden, damit sie sich selbst ein Urteil bilden können. Elektrorollstühle oder Swiss-Tracs schaffen ohne Mühe deutliche höhere Gefälle als 6 Prozent)

Anhang Tab.6 Bodenarten und Oberflächenbeschaffenheiten nach DIN 18024-1/Nullbarriere.de (HOPF)

Bodenart	Oberflächenbeschaffenheit
Beton/ Stein	gut zu säubern, teuer in Anschaffung
Naturstein	qualitätsvoller Belag, wiederverwendbares Material, schlechte Rollqualität, sehr teuer in der Anschaffung
Bitumengebundene Böden	eben, gut zu säubern, als Fallschutz nicht geeignet, Reparatur und Entsorgung teuer
Wassergebundene Decken	sehr gute Lauf- und Fahrqualität (auch für Rollstuhlfahrer), kostengünstig, Pflege erforderlich
Rasen	gute Laufqualität, Kosten für Anschaffung und Entsorgung günstig, Pflege teuer
Holzschnitzel/ Rindenmulch	kostengünstig, Hygiene problematisch, Pflege teuer, Dicke 200 mm, wasserabführender Untergrund
Sand/ Kies	Anschaffung günstig, Pflege erforderlich, Dicke 200 mm
synthetischer Fallschutz/ Fallschutzplatten	gute Griffigkeit u. Fahrqualität, teuer in Anschaffung und Entsorgung, geringer Pflegeaufwand

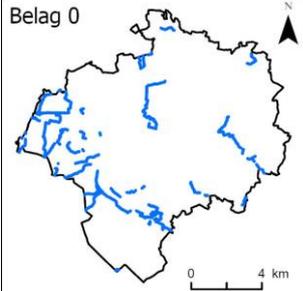
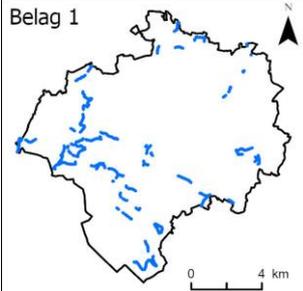
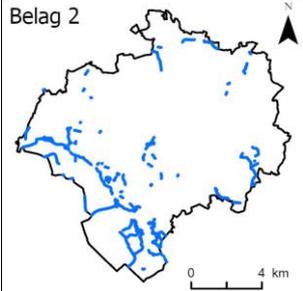
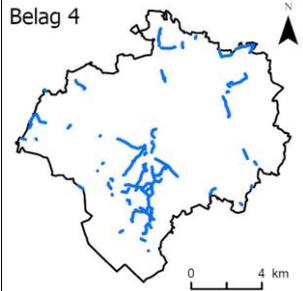
7.5 Anhang 5: Schema des Analyseworkflows

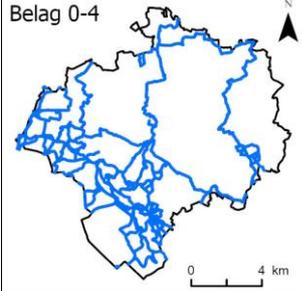


Anhang Abb.17: schematische Darstellung des Analyseworkflows, der Ablauf erfolgt von oben nach unten. Gelb hinterlegte Kacheln stellen schematisch die verwendeten Datensätze dar. Blaue Kacheln veranschaulichen die verwendeten GIS-Werkzeuge, teilweise in ihrer Englischen Originalbezeichnung. Grüne Kacheln repräsentieren in dem Flussdiagramm die Resultate und gegebenenfalls deren Weiterverwendung.

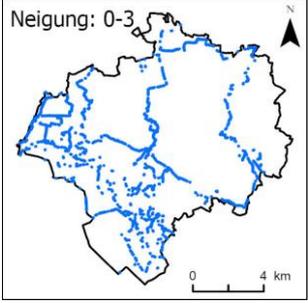
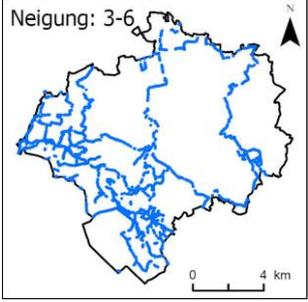
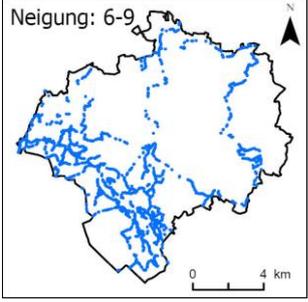
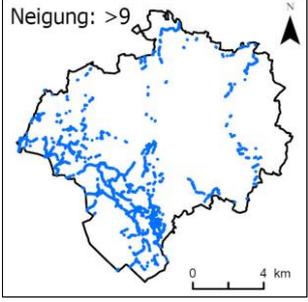
7.6 Anhang 6: Tabellarische Auflistung der Ergebnisse

Anhang Tab.7 Streckenlängen nach Wegebefestigungs- und Beschaffenheitsklassifikation, deren räumliche Lage und deren Anteil an der Gesamtstreckenlänge

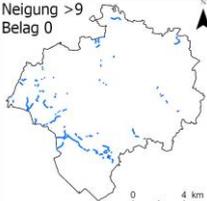
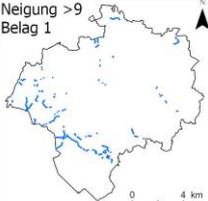
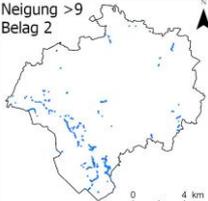
Wege nach Beschaffenheitsklassifikation	Kartenbild	Länge(km)	Anteil an Gesamtstrecke
0 – nicht erfasst	Belag 0 	48,96	29,35%
1 - Naturnah	Belag 1 	32,40	19,43%
2 - Befestigt	Belag 2 	45,85	27,49%
3 - schlecht begehbar	Belag 3 	1,30	0,78%
4 - Verbunddecke	Belag 4 	38,29	22,95%

alle Wege (Summe)	<p>Belag 0-4</p> 	166,80	100,00%
------------------------------	--	---------------	----------------

Anhang Tab.8 Streckenlängen nach Neigungsklassifizierung, deren räumliche Lage und deren Anteil an der Gesamtweglänge

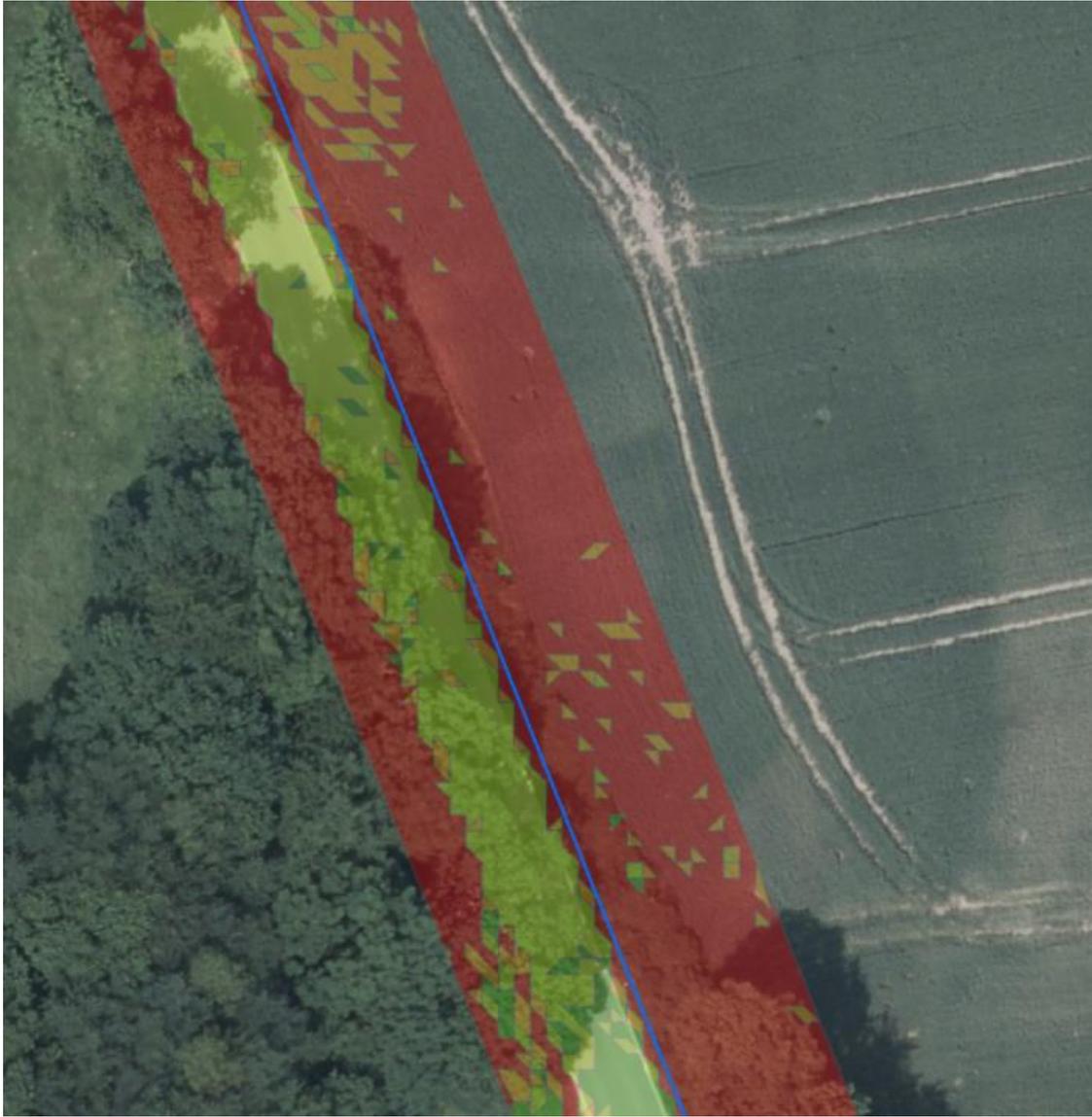
Wege nach Neigungsklasse		Länge(km)	Anteil an Gesamtstrecke
0-3%	<p>Neigung: 0-3</p> 	40,16	24,08%
3-6%	<p>Neigung: 3-6</p> 	49,97	29,96%
6-9%	<p>Neigung: 6-9</p> 	34,83	20,88%
>9%	<p>Neigung: >9</p> 	41,84	25,09%
Summe		166,80	100,00%

Anhang Tab.9 Kombination der Merkmale Wegebeschaffenheit und Geländeneigung, die jeweiligen Streckenlängen und deren Anteile an der Gesamtstrecke

Wege- beschaffenheit/ Neigung	nicht erfasst	Naturnah	Befestigt	schlecht begebar	Verbunddecke
0-3% [km]	13,64 km  Neigung 0-3 Belag: 0	4,86 km  Neigung 0-3 Belag 1	9,76 km  Neigung 0-3 Belag 2	0,38 km  Neigung 0-3 Belag 3	11,51 km  Neigung 0-3 Belag 4
Anteil 0-3%	8,18%	2,92%	5,85%	0,23%	6,90%
3-6% [km]	13,36 km  Neigung 3-6 Belag: 0	10,36 km  Neigung 3-6 Belag 1	14,76 km  Neigung 3-6 Belag 2	0,51 km  Neigung 3-6 Belag 3	10,98 km  Neigung 3-6 Belag 4
Anteil 3-6%	8,01%	6,21%	8,85%	0,30%	6,58%
6-9% [km]	8,99 km  Neigung 6-9 Belag: 0	7,72 km  Neigung 6-9 Belag 1	10,18 km  Neigung 6-9 Belag 2	0,28 km  Neigung 6-9 Belag 4	7,66 km  Neigung 6-9 Belag 4
Anteil 6-9%	5,39%	4,63%	6,10%	0,17%	4,59%
< 9 [km]	12,97 km  Neigung >9 Belag 0	9,46 km  Neigung >9 Belag 1	11,15 km  Neigung >9 Belag 2	0,13 km  Neigung >9 Belag 3	8,13 km  Neigung >9 Belag 4
Anteil < 9%	7,78%	5,67%	6,68%	0,08%	4,87%



Anhang Abb.18: Ausschnitt des Wanderwegenetz südlich des Hermannsdenkmal, Wegeführung in Blau und TIN mit farbcodierter Neigungsdarstellung. Hohe Neigungen (>9%) in rot, flache Neigungen in grün und orange (0% - <9%)



Anhang Abb.19: Verlauf des Wanderweges abseits einer Straße und damit abseits flacher, womöglich barrierefreier Wanderwege