

Eika Ehme & Sabine Panzer-Krause

Image und Stadtteilentwicklung: Attraktivierung innenstadtnaher Wohnviertel für Studierende und identitätsstiftende Maßnahmen am Beispiel der Hildesheimer Neustadt

Michelle Kieselstein

Niedersächsische Lehrpfade – wie können traditionelle Bildungsinstrumente eine Bildung für nachhaltige Entwicklung ermöglichen?

Mischa Wittmar & Martin Sauerwein

Geoökologische Untersuchungen zur Immissionsbelastung des Stadtwaldes Eilenriede (Hannover).

Moritz Sandner, Robin Stadtmann & Martin Sauerwein

Möglichkeiten und Grenzen offener Fernerkundungsdaten und Open-Source-Software zur Landbedeckungsklassifikation des Nationalparks Cinque Terre (Italien)

Hildesheimer Geographische Studien
Band 9

Hildesheimer Geographische Studien

herausgegeben von Martin Sauerwein

in Verbindung mit

Nico Herrmann, André Kirchner, Sarah Matheis-Kist, Sabine Panzer-Krause,
Annabell Ringel, Moritz Sandner und Toni Schirdewahn

Stiftung Universität Hildesheim
Institut für Geographie

Band 9

UV Universitätsverlag
Hildesheim

Hildesheim
2019

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung
außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes
ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig.
Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen,
Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in
elektronischen Systemen.

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISO 9706

Gedruckt auf säurefreiem, alterungsbeständigem Papier
Herstellung: rauer-digital druck und medien, 31167 Bockenem
Printed in Germany

© Universitätsverlag Hildesheim, Hildesheim 2019
www.uni-hildesheim.de/bibliothek/publizieren/universitaetsverlag/
Redaktion, Umschlaggestaltung und Satz: Martin Sauerwein
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 978-3-96424-024-8
ISSN (Print) 2367-0754

Dieses Werk steht auch als elektronische Publikation
im Internet kostenfrei zur Verfügung
<http://dx.doi.org/10.18442/082>
ISSN (Internet) 2367-0762

Es ist mit der Creative-Commons-Nutzungslizenz
„Namensnennung – Nicht kommerziell – Keine Bearbeitung 4.0 International“
versehen. Weitere Informationen finden sind unter:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.de>

INHALT

S. 1 – 34

Eika Ehme & Sabine Panzer-Krause

Image und Stadtteilentwicklung: Attraktivierung innenstadtnaher Wohnviertel für Studierende und identitätsstiftende Maßnahmen am Beispiel der Hildesheimer Neustadt

S. 35 – 65

Michelle Kieselstein

Niedersächsische Lehrpfade – wie können traditionelle Bildungsinstrumente eine Bildung für nachhaltige Entwicklung ermöglichen?

S. 66 – 90

Mischa Wittmar & Martin Sauerwein

Geoökologische Untersuchungen zur Immissionsbelastung des Stadtwaldes Eilenriede (Hannover)

S. 91 – 123

Moritz Sandner, Robin Stadtmann & Martin Sauerwein

Möglichkeiten und Grenzen offener Fernerkundungsdaten und Open-Source-Software zur Landbedeckungsklassifikation des Nationalparks Cinque Terre (Italien)

S. 124 – 129

Informationen aus dem Institut 2017 – 2018

Image und Stadtteilentwicklung: Attraktivierung innenstadtnaher Wohnviertel für Studierende und identitätsstiftende Maßnahmen am Beispiel der Hildesheimer Neustadt

Eika Ehme & Sabine Panzer-Krause

Zusammenfassung

Die Hildesheimer Neustadt ist durch demographische Veränderungsprozesse, aber auch einen hohen Durchgangsverkehr sowie Trading-Down-Prozesse und damit verbundene Imageverluste geprägt. Potential, die soziodemographische Durchmischung zu fördern und den Stadtteil neu zu beleben, wird in den Studierenden gesehen, die in Hildesheim heimisch werden möchten. Diese Studie untersucht anhand einer umfangreichen Befragung die Wohnpräferenzen von Student*innen der Hildesheimer Hochschulen und ihre Wahrnehmung der Neustadt, um daraus Maßnahmen zur Attraktivierung des Quartiers für Studierende abzuleiten. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mietpreise das wichtigste Kriterium für die Wohnortwahl waren. Die Neustadt wurde überwiegend positiv wahrgenommen. Ihr Bekanntheitsgrad nahm jedoch mit zunehmender Entfernung des Wohnorts der Studierenden ab, und negativ geprägte Raumbilder wurden dann häufiger wiedergegeben. Das Image eines Studierendenviertels war bisher kaum erkennbar. Als Stärken wurden die Zentralität, die gute ÖPNV-Anbindung und die Nähe zum Grünen genannt. Entwicklungsbedarf äußerten die Studierenden vor allem bei gastronomisch-kulturellen Angeboten. Mit Blick auf das begrenzte Budget der Studierenden ist zu überlegen, die Wohnungsmieten an den BAföG-Satz anzupassen. Eine stärkere und zielgruppengenaue Vermarktung der vorhandenen Quartiersveranstaltungen kann zu einer besseren Identifikation der Studierenden mit ihrem Stadtteil beitragen.

Schlüsselwörter: Stadtteilentwicklung, Wohnungsmarkt, Studierende, Image, Wahrnehmung, Hildesheimer Neustadt

Summary

The quarter of Hildesheim Neustadt is characterized by processes of demographic change, but also by a high amount of through-going traffic, trading-down processes and thus image damage. In order to promote socio-demographic mixing, potential is seen in attracting university and college students to the neighbourhood. By means of a large-scale survey, this study analyses living preferences of students studying in Hildesheim and their perception of Neustadt. The results show rental prices were the most important criterion for domicile choice. Hildesheim Neustadt was mainly perceived positively. However, neighbourhood awareness decreased with increasing distance of the students' residence, and spatial images were then more often negative. The image of a student quarter was rarely associated with Neustadt. Centrality, good public transport and proximity to greenery were identified as Neustadt's strengths. Gastronomy and cultural offers shall be developed. With regard to the students' limited budget, rents based on student loans (BAföG) should be considered. A better marketing of the already existing neighbourhood events can foster the students' identification with their neighbourhood.

Key words: urban district development, housing market, students, image, perception, Hildesheim Neustadt

1 Einleitung

In der modernen Stadtentwicklung kommt neben energieeffizienter und nachhaltiger(er) Planung auch der Entwicklung und Förderung einer persönlichen, eigenen Stadtidentität eine wichtige Rolle zu (SPEER 2013, zit. in MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 253). Das Gefühl von Zugehörigkeit und ‚Zuhause-Sein‘ fördert die emotionale Bindung der Bewohner*innen an ihre Stadt bzw. ihren Stadtteil und stellt somit einen bedeutenden Bindungstreiber dar (FREYTAG & MÖSSNER 2016, INWIS 2016:20). Die Stadt solle als öffentliches Gemeinschaftswohnzimmer fungieren, nicht als bloßer Durchgangskorridor (MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 254).

Die Bewohner*innen der Hildesheimer Neustadt generationenübergreifend an ihr innerstädtisches Quartier zu binden, ist in der Vergangenheit nur bedingt gelungen (INWIS 2016: 19, INWIS 2015: 10, 13). Zunehmende Ladenleerstände, hoher Durchgangsverkehr und daraus resultierende Imageverluste erzeugten den Eindruck eines perspektivlosen Stadtteils – was letztendlich zur Resignation der Bewohnerschaft führe (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 11-17, PRAUSER 2008: 150). Auch aus demographischer Sicht drohe dem Stadtteil „ein Vakuum an Menschen, [...] an handelnden Personen, an Leben“ (HOMEISTER, zit. in RADIO TONKUHLE 2015 [03:15-03:26]).

Großes Potential, die soziodemographische Durchmischung zu fördern und den Stadtteil neu zu beleben, sieht die Initiative Neustadt in den jungen Studierenden, die in Hildesheim heimisch werden möchten. Man habe großes Interesse am Zuzug dieser Personengruppe und möchte vor allem eine verbindende Brücke zwischen der zugezogenen und der angestammten Wohnbevölkerung schlagen (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 17-19). Folglich besteht ausdrücklich Interesse an den Wünschen und Bedürfnissen der Hildesheimer Studierenden. Auch deren bevorzugte Wohnformen und das gegenwärtige Image der Neustadt aus studentischer Sicht dürften wichtige Erkenntnisse für die weitere Stadtteilentwicklung des Quartiers mit sich bringen.

In Hildesheim wuchs der Studierendenanteil seit 2010 um ein Viertel und entspricht damit bereits 10% der gesamten Stadtbevölkerung (INWIS 2015: 10). Die steigende Nachfrage an bedarfsgerechtem Wohnraum hat jedoch in vielen Universitätsstädten eine zunehmend angespanntere Marktsituation zur Folge (BBSR 2014: 4, GLATTER et al. 2014: 385-386). GLATTER et al. (2014: 386) weisen diesbezüglich auf den dringenden Bedarf an Studien zur „Bedeutung des studentischen Wohnens für lokale Märkte“ hin. Vor diesem Hintergrund stellt die Neustadt sowohl durch innerstädtische Zentralität (VOSGERAU 2005: 369) als auch durch die nahegelegenen Hochschulstandorte der HAWK und der HR Nord einen potentiellen Gunstwohnraum für Studierende dar, dessen wissenschaftliche Betrachtung lohnend erscheint.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der Fragestellung, welche Maßnahmen dazu beitragen können, die Attraktivität der Hildesheimer Neustadt als Wohnstandort für Studierende zu steigern. Eine umfassende Befragung der Zielgruppe und die sich daraus ableitenden Erkenntnisse sollen als konkrete Impulse aus erster Hand dabei helfen, den Stadtteil Neustadt im Sinne der Studierenden bedarfsgerechter zu gestalten. Dazu wird im ersten Teil zunächst auf die historische und aktuelle Stadtteilentwicklung Hildesheims unter Einbezug des Untersuchungsgebiets Neustadt eingegangen. Nachfolgend werden allgemeine Befunde zum studentischen Wohnen am Beispiel gängiger Lebensstile und Wohnweisen vorgestellt und durch exemplarische Ansätze anderer Städte, attraktive Wohnanreize für die Gruppe der Studierenden zu schaffen, ergänzt. Daran anknüpfend finden die Hildesheimer Studierenden als Zielgruppe dieser Arbeit stärkere Beachtung. Aktuelle Entwicklungstendenzen der Studierendenzahlen, die räumliche Verteilung der Hochschulstandorte und die Lage der Studierendenwohnheime – mitsamt ihren wohnräumlichen Kapazitäten – bilden den Kern der Betrachtung und berücksichtigen räumliche Bezüge zum Untersuchungsraum. Der empirische Teil der Studie wird mit einem Rückbezug auf die zentrale Fragestellung und den daraus abgeleiteten Hypo-

thesen eingeleitet. Weiterführend werden das methodische Vorgehen geschildert und die Ergebnisse präsentiert. Abschließend sollen diese unter Einbezug des theoretischen Hintergrundes und der Fragestellung diskutiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse spiegeln sich zusammenfassend in einem Fazit wider, welches zugleich den Blick für weiterführende Forschungsthemen öffnet.

2 Geographische Einordnung und Stadtentwicklung der Hildesheimer Neustadt

2.1 Geographisch-soziodemographische Einordnung der Neustadt in das Stadtgebiet Hildesheims

In der Stadt Hildesheim leben laut STADT HILDESHEIM – SUW (2017) 106.072 Einwohner. Die Stadt hat den Rang eines Oberzentrums und deckt somit zentralörtliche Versorgungsfunktionen des höheren, mittleren und niedrigen Bedarfs ab.

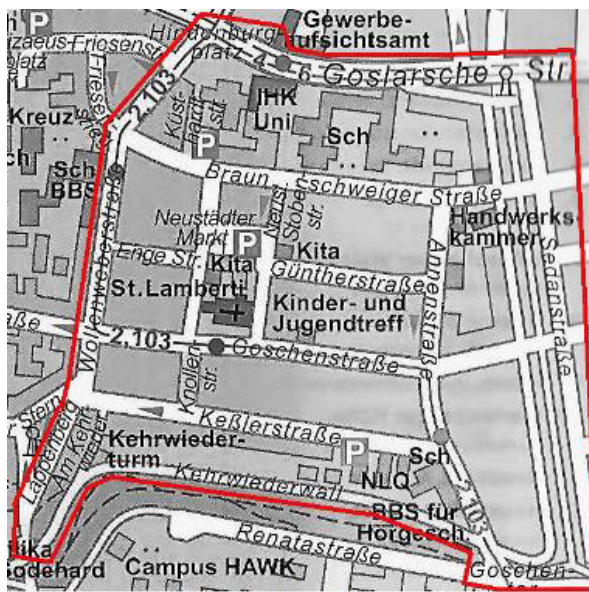


Abb. 1: Hildesheimer Neustadt mit Bezirksgrenze (STADT HILDESHEIM – VUG 2014, Herv. Verf.).

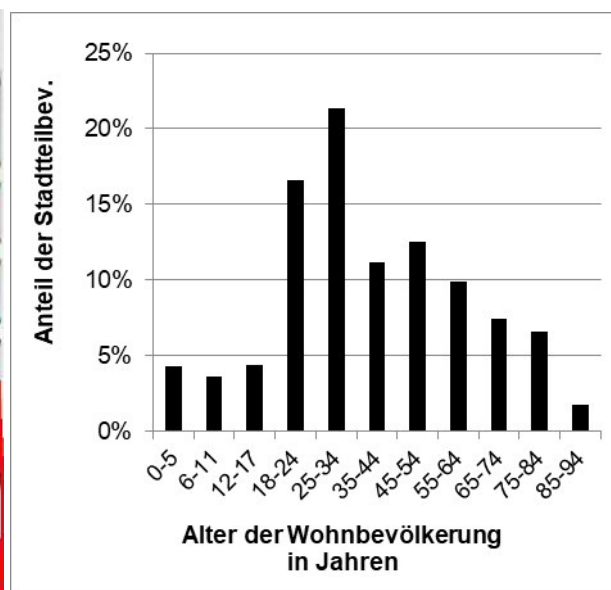


Abb. 2: Demographie im Stadtteil Neustadt (Stand: 31.12.2016) (eigene Darstellung nach STADT HILDESHEIM – SUW 2017).

Das Untersuchungsgebiet Neustadt gehört zum zentral gelegenen Stadtteil „Neustadt/Stadtmitte“ und ist der kleinste Bezirk Hildesheims (STADT HILDESHEIM o.J., HAWK 2015: 31). Die Gebietsgrenzen werden durch die Wollenweberstraße, Goslarische Straße, Sedanstraße, Goschentor, Kehrwiederwall und Lappenberg markiert (Abb. 1). Mit 2.284 Einwohnern entspricht die Stadtteilbevölkerung einem Anteil von 2,2% der Gesamtstadt (STADT HILDESHEIM – VUG 2017, STADT HILDESHEIM – SUW 2017). Sowohl der Prozentsatz der über 60-Jährigen als auch jener der unter 20-Jährigen fällt im Vergleich zur Gesamtstadt geringer aus. Die Gruppe der sich im Studienalter befindenden 18- bis unter 25-Jährigen hat sich seit 2004 fast verdoppelt (Zuwachsrates Neustadt: 47%; Gesamtstadt: 25%) und umfasst gegenwärtig 380 Personen (STADT HILDESHEIM – SUW 2017, INITIATIVE NEUSTADT 2014: 7, 19). Die Wandergewinne durch Studierende sind indes nur vorübergehend (Abb. 2). Nach Abschluss des Studiums oder der Ausbildung kann die junge Bevölkerung in der Regel nicht gehalten werden – weder in der Neustadt noch in der Gesamtstadt (STADT HILDESHEIM – SUW 2017, INWIS 2015: 10, 13).

Das hat sichtbare Folgen für die Sozialstruktur. Jeder zweite Hildesheimer Haushalt (51%) ist heute ein Einpersonenhaushalt. In der Neustadt liegt der Prozentsatz mit 68% sogar noch höher. Singlehaushalte werden hier am häufigsten von Personen unter 30 Jahren geführt (40%). Sich wandelnde Sozialstrukturen bedeuten für die Neustadt, dass es mehr mobile Singles anstelle sesshafter Familien

gibt, während die Wohn- und Lebensdauer der angestammten Bevölkerung zeitlichen Grenzen unterworfen ist. Mit ihnen schwinden die Stadtteilbindung und das Zusammengehörigkeitsgefühl im Viertel (STADT HILDESHEIM – SUW 2017, INITIATIVE NEUSTADT 2014: 17). Zurück bleibt eine Wohnbevölkerung, die „infolge der fortschreitenden Überformung des alten Milieus letztlich das Gefühl von Zugehörigkeit und „Zuhause-Sein“ im eigenen Quartier verliert“ (FREYTAG & MÖSSNER 2016: 83). Wenn derlei Veränderungen vordergründig durch Studierende und ihre Lebensstile hervorgerufen werden, wird dies als „Studifizierung“ bezeichnet.

2.2 Entwicklungsgeschichtliche und aktuelle Charakteristika der Neustadt

Aus stadt- und siedlungsgeographischer Perspektive betrachtet, ist Hildesheim ein Beispiel früher Mehrkernigkeit (HOFMEISTER 1994⁶: 37, HEINEBERG 2017⁵: 219, BASTEN & GERHARD 2016: 118). Nachdem sich die Altstadt im 12. Jahrhundert mit Markt um die Michaeliskirche herum im Nordosten entwickelt hatte, wurde 1221 etwa einen halben Kilometer östlich der Altstadt die Neustadt mit jeweils eigener Befestigung und Kirche gegründet. Nach ihrer Vereinigung wurden beide Teilstädte von einer gemeinsamen Stadtmauer umgeben, welche zugleich auch deren räumliche Ausbreitung begrenzte (HEIN & KEMMERER 1988: 1, 15, 23-24, 92, ADEN 2001: 42). Im Gegensatz zur „oft organisch gewachsen[en]“ (MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 15) Altstadt weisen „Neustädte schon sichtbar geplante, geordnete Strukturen“ (MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 15) in „klaren graphischen Grundformen“ (MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 14) mit verdichteter Bebauung auf (HOFMEISTER 1994⁶: 151). Obwohl große Teile der Alt- und Neustadt mitsamt ihren typischen Fachwerkbauten während des 2. Weltkriegs zerstört wurden, blieben die ursprünglichen Straßenzüge nach dem Wiederaufbau bis in die Gegenwart bestehen. Die noch heute sichtbaren Wallanlagen und der Kehrriederturm erinnern an die mittelalterlichen Wurzeln der Stadt (ADEN 2001: 53, 84-89, ADEN 1994: 5, 18, 97, 113, HEIN & KEMMERER 1988: 49).

Bis heute gehört die architektonische Vielfalt zum baulichen Gewand der Neustadt (HEIN & KEMMERER 1988: 24). Der traditionelle Neustädter Wochenmarkt mit dem Katzenbrunnen als Quartierswahrzeichen (STADT HILDESHEIM 2016) erzielt mit biologischen und regionalen Warenangeboten stadtteilübergreifende Sogwirkung und ist neben dem Goschentor die „Lebensader“ des Viertels (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 6, 16, HAWK 2015: 13).

In jüngster Vergangenheit prägten der hohe Durchgangsverkehr und zahlreiche leerstehende Geschäfte das Stadtbild des Quartiers, verbunden mit Trading-Down-Effekten, zunehmenden Imageeinbußen und Resignation (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 11-17, PRAUSER 2008: 150). Eckard Homeister von der Wirtschaftsförderung der Stadt Hildesheim zufolge sind die Gründe sowohl demographisch bedingt als auch in den Zuständen und Größen der Immobilien zu sehen (HOMEISTER in RADIO TONKUHLE 2015 [02:44-03:26]), LENFERS in RADIO TONKUHLE 2014 [01:00-01:24]). Mit dem Ziel, den Stadtteil zu beleben und die Quartiersgemeinschaft zu stärken, gründete sich 2012 die Initiative Neustadt. Seitdem werden etwa im Monatstonus Aktivitäten und Feste für Kinder und Jugendliche und Veranstaltungen wie „Hinten im Hof“, „Picknick in Weiß“, „literarisch-musikalische Abendspaziergänge“ sowie jeweils mittwochs und samstags der Neustädter Markt angeboten (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 6, 16, 26, LENFERS in RADIO TONKUHLE 2015 [01:33-02:07], HONZBERG in RADIO TONKUHLE 2015 [00:50-01:19]).

Die dringendsten Angelegenheiten der Neustädter Belebung stellen nach Einschätzung der Initiative Neustadt und einer Analyse der HAWK der Ausbau von Verweil- und Sitzplätzen, Stadtteilbegrünung und die Integration der „durchreisenden“ Studierenden in das Neustädter Leben dar (HONZBERG in RADIO TONKUHLE 2015 [03:54-04:03], LENFERS in RADIO TONKUHLE 2014 [02:58-03:39], INITIATIVE NEUSTADT 2014, HAWK 2015: 15, 19, 25). Großes Potential liegt in Werbemaßnahmen für die Neustädter Veranstaltungen, welche nach Angaben der Bevölkerung bisher kaum (zu 90% gar nicht) wahrgenom-

men werden (HAWK 2015: 21, 25). Seitens der INWIS (2016: 29) wurde zudem empfohlen, verstärkt in visuell ansprechendere Gestaltungen alter Gebäudefassaden und in ein größeres Angebot an kleinen Mietwohnungen zu investieren.

Bis 2030 werden für den Stadtteil Neustadt/Stadtmitte wanderungsbedingte Bevölkerungszuwächse und ein rückläufiger Anteil junger Haushalte prognostiziert (INWIS 2015: 36-37). Zwar würden 30% der Hildesheimer Bürger*innen bei einem Umzug in die Neustadt ziehen, sich jedoch nicht allzu stark an das Quartier binden. Die derzeitigen Bewohner*innen sind mit ihrem Stadtviertel durchschnittlich bis mäßig zufrieden (INWIS 2016: 15-19).

Die Initiative Neustadt möchte im Rahmen der Stadtteilbelebung die demographische Durchmischung im Quartier fördern und das Miteinander der Generationen stärken. So sollen sich etwa die vielen Studierenden der nahegelegenen Hochschulen in der Neustadt wohl- und heimisch fühlen (RADIO TONKUHLE 2015 [02:08-02:44], INITIATIVE NEUSTADT 2014: 24). Man unterhalte bereits gute Kontakte zur studentischen Kunstszene, so Henner Lenfers von der Initiative Neustadt. Dass die Mehrheit der Studierenden das Viertel derzeit nur auf dem Weg zur Hochschule oder zur Innenstadt durchquert und den Stadtteil als solchen kaum beachtet, ist der Initiative bekannt und soll sich ändern (LENFERS in RADIO TONKUHLE 2014 [01:33-02:03], INITIATIVE NEUSTADT 2014: 19, 24).

Das Bestreben, aktiver auf die wohnlichen Belange und freizeitlich-kulturellen Bedürfnisse der Studierenden einzugehen, wird indes nicht von allen Anwohnern begrüßt. Besonders jene Bürger*innen, welche in der Stadt verwurzelt sind und eine enge emotionale Bindung zum Quartier entwickelt haben, befürchten eine Studifizierung ihres Viertels (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 19). Der Begriff ist an die im Zuge von Stadteilaufwertungen häufig eintretende Gentrifizierung der Wohnbevölkerung angelehnt (PRAUSER 2008: 149, BUSSE 2010: 80, GLATTER et al. 2014: 393, BASTEN & GERHARD 2016: 126, FREYTAG & MÖSSNER 2016: 83). Studierende beziehen ein „vergleichsweise schlecht instand gehaltenes innerstädtisches Quartier, erschließen es sich nach ihren Bedürfnissen und wirken damit durch Attraktivitätssteigerung an der Verdrängung der (alt)eingesessenen, nicht-akademischen Bevölkerung mit“ (VOSGERAU 2005: 372). Sollte jedoch langfristig nichts unternommen werden, um der Demographie des Stadtteils entgegenzuwirken, „entsteht ein Vakuum an Menschen, [...] an handelnden Personen, an Leben. Ein Vakuum an Leben in einem Stadtteil. [Die Folgen] sehen wir gerade“ (HOMEISTER zit. in RADIO TONKUHLE 2015 [03:15-03:26]).

3 Studentisches Wohnen in Deutschland

3.1 Typisch Studierendenviertel? Einfluss von Image und Raumwahrnehmung

Unter dem Begriff „Lebensstil“ werden „raum-zeitlich konstruierte Muster der Lebensführung“ (HELBRECHT & POHL 1995: 227) verstanden. Diese Muster umfassen „individuelle Neigungen, Orientierungen, Überzeugungen und Wertvorstellungen der betreffenden Menschen, was sich auch in den Kategorien der Wahrnehmung, Identität und Zugehörigkeit ausdrückt“ (FREYTAG & MÖSSNER 2016: 70). Die daraus resultierenden Verhaltensweisen können „sich bewusst angeeignet werden [...] und soziale Positionen der Praktizierenden markieren“ (VOSGERAU 2005: 48). Auch die Koexistenz und Überprägung verschiedener Lebensstile sind möglich (FREYTAG & MÖSSNER 2016: 83). Unter Studierenden sind linke, alternative, liberale oder postmoderne Einstellungen häufig stärker ausgeprägt als bei nicht-studierenden Gleichaltrigen (VOSGERAU 2005: 80). Die Lebensbereiche Kultur, Freizeit und Konsum stehen dabei im Fokus (FREYTAG & MÖSSNER 2016: 70). VOSGERAU (2005: 372) betont, dass „Studierende mit ihren Wohnweisen und ihrer Freizeitkultur ganze Stadtteile prägen [können]“.

Studentische Kulturen zeigen sich ortsbezogen in bestimmten städtischen Teilräumen wie der Innenstadt, dem Campus-Umfeld und dem Wohnquartier (VOSGERAU 2005: 47, 372, FRIEBERTSHÄUSER 1992:

101). Kennzeichen studentischer Kulturen sind ihr multikultureller Charakter, hohe Verkehrs- und Lärmbelastungen und die höhere Dichte u.a. an Gastronomie und Diskotheken (GLATTER et al. 2014: 395). Wie eine Stadt oder ein Stadtviertel wahrgenommen wird, hängt jedoch wesentlich von persönlichen Vorlieben, Vorwissen und Vorurteilen ab (FASSMANN 2004: 27, HEINEBERG 2014⁴: 275). Auf diese Weise entstehen individuell verzerrte Raumbilder, mit deren Hilfe Räume von außen eingeschätzt werden (VOSGERAU 2005: 343, 348, FRIEBERTSHÄUSER 1992: 145). Einheitliche Merkmale wie Gebäudetypen und Baualter werden subjektiv als positiv/sympathisch oder negativ/unsympathisch bewertet, wodurch eine stabile, an diese Emotionen gebundene Vorstellung von der Stadt/dem Stadtteil entsteht. Die entstandenen Raumbilder beeinflussen raumrelevantes Verhalten bei Wanderungsentscheidungen, Einkaufs- und Freizeitgewohnheiten (HOTZAU 1997²: 201, HEINEBERG 2017⁵: 174).

Die Entscheidung, dort (nicht) wohnhaft zu werden, wird außerdem von der persönlichen Identifikation mit dem Stadtraum beeinflusst. Erlebniswert und Ästhetik, ja bereits individuelle Bebauung wirken identitätsstiftend (HOFMEISTER 1994⁶: 211, HEINZMANN 2006: 150). Identifikation kann dazu beitragen, bestehende Raumbilder zu revidieren (HOFMEISTER 1994⁶: 210). Somit wirkt der „Wahrnehmungsraum – nicht der Realobjektraum [...] handlungsauslösend“ (FASSMANN 2004: 27). Aufenthaltsqualität, Nutzungsmischung und gemeinsame, generationenübergreifende Erlebnisräume (MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 254), Kunst- und Kulturangebote (WIESE 2008: 2) und Nachbarschaftskontakte (HEINEBERG 2017⁵: 172-173, 269) können Identität stiften und einen Imagewandel einleiten, denn das Zugehörigkeitsgefühl zur Stadt verbindet auch ihre Bewohner (REITEMEIER 2016: 87).

3.2 Befunde zur Wohnraumsuche und zu bevorzugten Wohnformen

Die Wohnungsvermittlung geschieht oft auf mehreren Wegen parallel. Eine vom DSW in Auftrag gegebene Befragung von 8.500 Studierenden ergab, dass diese hauptsächlich über das Internet nach Wohnraum suchen. Auf Platz zwei rangieren Tipps von Freunden, Bekannten und Verwandten, gefolgt von Zeitungsinseraten (WANK et al. 2009: 4). Diese Befunde decken sich mit den Ausführungen von GLATTER et al. (2014: 393) und HEINZELMANN (2007: 11). Zwei Drittel aller Studierenden bevorzugen Mietwohnungen, etwa ein Fünftel wohnt weiterhin bei den Eltern und rund 10% ziehen in ein Studierendenwohnheim (WANK et al. 2009: 1, 9, BMBF 2015: 36, 405). „Zu Studienbeginn existiert keine eindeutig dominierende Wohnform“ (WILLIGE & ISLEIB 2013: 5), insgesamt zeigen sich jedoch altersspezifische Präferenzen. Mit zunehmendem Alter wird das Elternhaus zugunsten einer eigenen Wohnung verlassen (BMBF 2015: 37). Wohngemeinschaften sind vor allem bei jungen Studierenden die am stärksten verbreitete Wohnform (VOSGERAU 2005: 372). Wohnheimplätze sind zwar ebenfalls häufig in Wohngruppen organisiert, genießen jedoch unter den Studierenden keinen guten Ruf und beherbergen vor allem ausländische Studierende (WANK et al. 2009: 2-3, GLATTER et al. 2014: 392). Das Angebot an Wohnheimplätzen ist trotz erheblich gestiegener Studierendenzahlen (DSW 2015: 23, BMBF 2015: 37, BBSR 2014: 14) von 1991 bis 2015 rückläufig bis stagnierend, die Unterbringungsquote ist von 15% (1991) auf knapp 10% (2015) gesunken (DSW 2015: 23, GLATTER et al. 2014: 388). Der Anteil von Wohngemeinschaften hat sich hingegen stetig erhöht und wird weiter als steigend eingeschätzt (BMBF 2015: 407, 409). Die Zahl der Studierenden, die bei ihren Eltern wohnen, ist langfristig stabil, fällt in Ostdeutschland mit 11% jedoch deutlich geringer aus als in Westdeutschland (25%) (GLATTER et al. 2014: 388).

Obwohl die Nachfrage an studentischem Wohnraum laut GLATTER et al. (2014: 388) als relativ stabil eingeschätzt werden kann, sind ein oder mehrere Wohnungs- oder Ortswechsel während des Studiums wahrscheinlich. Dadurch wird die Entwicklung einer langfristigen Stadtteilbindung erheblich beeinträchtigt (HEINZELMANN 2007: 6, 21, WANK et al. 2009: 2, VOSGERAU 2005: 373, INWIS 2015: 13-19, INWIS 2016: 15). In diesem Zusammenhang ist zudem auf das von vielen Studierenden praktizierte

multilokale Wohnen – während der Woche am Studienort, am Wochenende bei den Eltern – hinzuweisen (WEHRHAHN 2016: 58).

Studierende, Paare und Singles unter 30 Jahren erachten kostengünstiges und energieeffizientes Wohnen als besonders wichtig (INWIS 2016: 26). Der 20. Sozialerhebung des BMBF zufolge belaufen sich die Ausgaben für Miet- und Nebenkosten auf etwa ein Drittel (\cong 298 €) des Monatsbudgets und bilden den größten Kostenfaktor im studentischen Finanzrahmen (BMBF 2015: 29, 258, MOSSIG 2008: 19). Am teuersten ist die eigene Mietwohnung in Form eines Einpersonenhaushaltes (BMBF 2015: 29, 260). Wohnungsengpässe und Mietpreisteigerungen verursachen laut BBSR (2014: 4) besonders in Universitätsstädten „deutliche Marktanspannungen“, die sich mit zunehmender Größe des Hochschulstandorts verschärfen (BMBF 2015: 29). Mit Blick auf die Realisierung zukünftiger Wohnraumprojekte für den studentischen Bedarf sind ferner auch potentielle Nachnutzungen zu berücksichtigen. Eine solche Möglichkeit könne nach GLATTER et al. (2014: 397) ein Low-Budget-Hotel oder ein Pflegeheim sein. Trotz des teilweise angespannten Wohnungsmarktes sind durchschnittlich drei von vier Studierenden überwiegend zufrieden mit ihrer Wohnsituation (WANK et al. 2009: 1). Im Rahmen der 20. Sozialerhebung gab auch drei Jahre später eine Mehrheit von 65% an, (sehr) zufrieden mit ihrer derzeitigen Wohnsituation zu sein. Ein Sechstel der Befragten war (sehr) unzufrieden (BMBF 2015: 38).

3.3 Wohnanreize schaffen und Flair erzeugen – Strategien anderer Städte

Der preissensible studentische Wohnungsmarkt eröffnet weniger gefragten Arealen mit gegenwertigem Vorkommen an Leerstand die Chance, auf kreativem Wege das eigene Potential aufzuzeigen und bestenfalls unter Einbezug der Zielgruppe attraktive Wohnanreize zu schaffen. Die hier vorgestellten Anreize sind als exemplarische Ideengeber zu verstehen und können beliebig adaptiert, variiert und weitergedacht werden.

Das Hamburger Schanzenviertel ist heute ein etabliertes studentisches Szeneviertel, dessen ursprüngliche Voraussetzungen grobe Parallelen zur Hildesheimer Neustadt aufweisen. Der Stadtteil präsentiert sich multikulturell, zentrumsnah, mit „überwiegend gründerzeitliche[m], sehr vielfältige[m] und dichte[m] Gebäudebestand mit sehr vielen Cafés und Kneipen“ (VOSGERAU 2005: 374). Die heterogene Bewohnerschaft trägt zu einer breiten sozialen sowie soziokulturellen Streuung im Stadtteil bei (VOSGERAU 2005: 373). Der gestiegene Besatz an Gastronomie, „Galerien und kleinen, inhabergeführten Geschäften [...] [fördert] die Nutzung des öffentlichen Raums [...] und damit eine moderne Form von Urbanität“ (BASTEN & GERHARD 2016: 126).

In den Potsdamer Plattenbausiedlungen „Am Schlaatz“ konnte die Wohnzufriedenheit gesteigert werden, indem die Mietpreise an die studentischen Einkommensverhältnisse angepasst wurden. Dennoch zogen viele Mieter nach Abschluss ihres Studiums fort (SCHRÖDER 2010: 58-59). Hier wird deutlich, dass die Wohnkosten als alleiniger Anreiz nur bedingt erfolgreich sind.

Am Beispiel Bochum/Innere Hustadt werden vielfältige Maßnahmen vorgeschlagen, die wahlweise kombiniert oder adaptiert Anwendung finden können. So ließen sich Gebäudefassaden und Treppentufte unter direkter Mitwirkung der Studierenden über einen Ideenwettbewerb nicht nur modern, innovativ und kreativ, sondern auch identitätsstiftend gestalten. Eine Auswahl verschiedener Wohnformen, lokal angebotene Umzugshilfen und Wohnungsmieten, die sich am BAföG-Satz orientieren, sind denkbar. Blumenbeete und Grillplätze in Blockinnenhöfen könnten Nachbarschaftskontakte anregen und eine Draußenkultur fördern. Darüber hinaus stellen Imagekampagnen in Zusammenarbeit mit dem AStA und der Hochschule eine weitere Möglichkeit dar (STADT BOCHUM 2007: 78-79, PRAUSER 2008: 150, GLATTER et al. 2014: 391).

Ein weiterer Ansatz zur Reduzierung des Wohnungsleerstands wird in Görlitz praktiziert, wo Studierende das Wohnen in bisher leerstehenden Beständen mit revitalisierter mittelalterlicher und gründerzeitlicher Bausubstanz in Form eines Probewohnens testen dürfen, ehe sie gegebenenfalls verbindlich dort einziehen (PAAL 2010: 14).

4 Hochschulstandort Hildesheim

4.1 Entwicklung der Studierendenzahlen und Lage der Hochschulen

Wie bereits erwähnt, zeigen die bundesweiten Studierendenzahlen seit einigen Jahren anhaltende Wachstumsraten, welche sich auch in Hildesheim bemerkbar machen. Bereits etwa 10% der Stadtbevölkerung sind heute studentisch. Gründe hierfür sind einerseits doppelte Abiturjahrgänge und gestiegene Abiturientenzahlen je Jahrgang, aber auch das Außer-Kraft-Treten der Wehrpflicht, die Zunahme internationaler Studenten seit 2008 um 45% und der Wegfall der Studiengebühren (BBSR 2014: 4, INWIS 2015: 10, GLATTER et al. 2014: 386).

Tab. 1: Entwicklung der Studierendenzahlen an den Hildesheimer Hochschulen – WiSe 2012/13, WiSe 2016/17 und SoSe 2017 im Vergleich (eigene Darstellung nach DESTATIS 2013: 71, 96, 111, LSN 2017: 1, HENNIGES 2017a (Stand: 21.05.2017), LOMP 2017 (Stand: 09.06.2017), PASCHKE 2017a (Stand: 24.05.2017).

Hochschuleinrichtung	Studierende pro Semester		
	WiSe 2012/13	WiSe 2016/17	SoSe 2017
Universität Hildesheim	insg. 6.048 M 1.586 W 4.462	insg. 7.948 M 2.233 W 5.715	insg. 7.614 M 2.162 W 5.452
HAWK Hildesheim	insg. 2.656 M 1.019 W 1.637	insg. 3.037 M 1.228 W 1.809	insg. 3.235 M 1.461 W 1.774
HR Nord	insg. 267 M 69 W 198	insg. 340 M 97 W 243	insg. 329 M 92 W 237
Insgesamt	8.907	11.325	11.178

Hildesheim verfügt mit der Universität, der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) und der Norddeutschen Fachhochschule für Rechtspflege (HR Nord) über drei ortsansässige Hochschulen unterschiedlicher Ausrichtung (STADT HILDESHEIM – VUG 2014: 5, 29-30). Aus Tab. 1 wird der Anstieg der Studierendenzahlen vom Wintersemester 2012/13 bis zum Sommersemester 2017 ersichtlich. Jede der drei Hochschulen verzeichnet positive Wachstumsraten. Die Einwohnerzuwächse Hildesheims lassen sich größtenteils auf Bildungswanderung von Studierenden zurückführen (INWIS 2015: 10). Gemessen an einer Stadtbevölkerung von 106.000 Bürger*innen beträgt der Studierendenanteil 10,5% (STADT HILDESHEIM – SUW 2017). GLATTER et al. (2014: 386-388) sprechen bei diesem Verhältnis von studentisch beeinflussten Wohnungsmärkten. Dennoch liegen gegenwärtig kaum Studien zur Bedeutung des studentischen Wohnens für lokale Märkte vor. Genaue Zahlen aller Studierenden mit Neustädter Wohnsitz konnten aus organisatorisch-datenschutzrechtlichen Gründen nur für die Gruppe der Universitätsstudierenden des Sommersemesters 2017 (\cong 100 Personen, Stand: 20.05.2017) erhoben werden (HENNIGES 2017b).

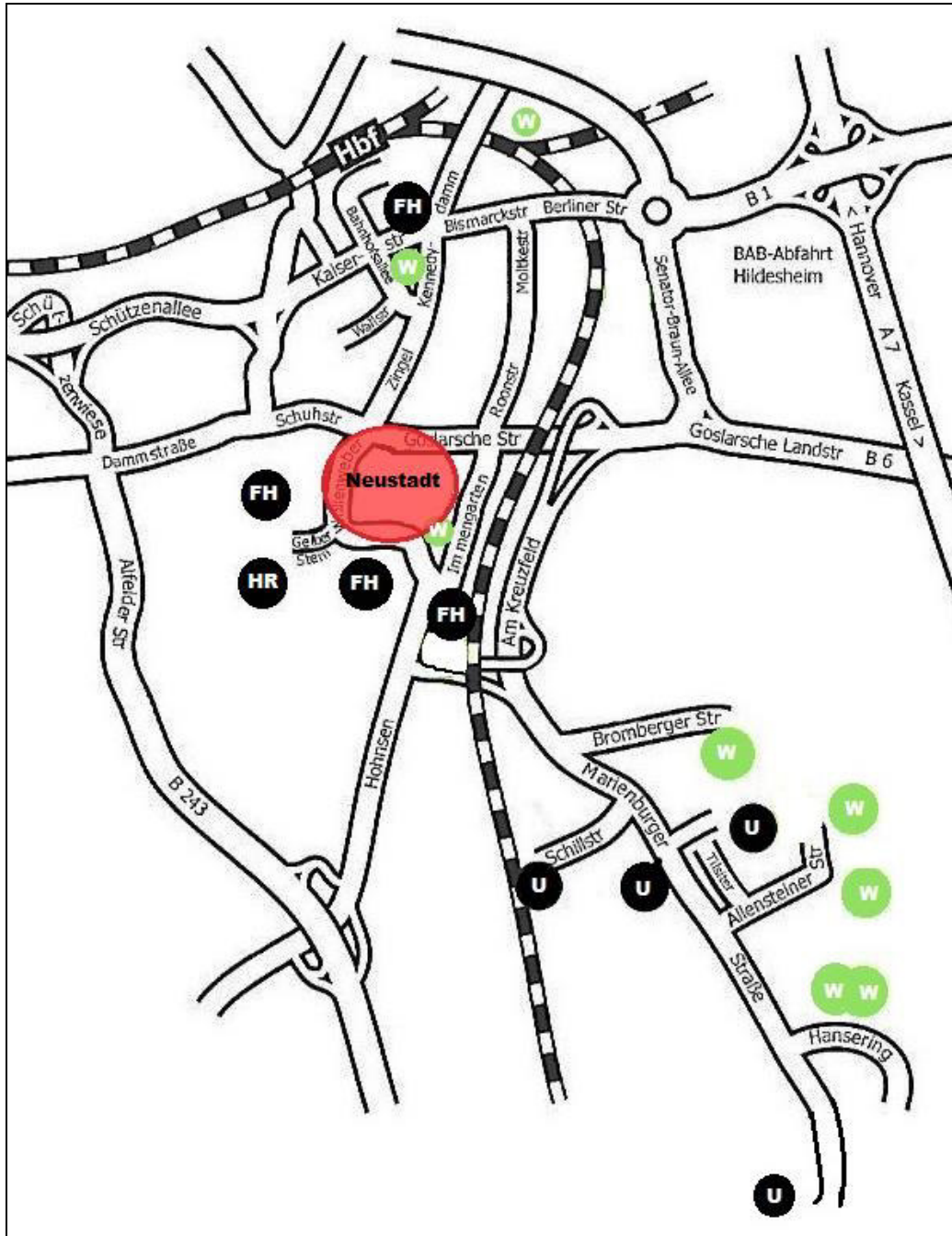


Abb. 3: Lageplan der Hochschulen und Studierendenwohnheime in Hildesheim (verändert und erweitert nach STW-ON 2017).

Die Gebäude beider Fachhochschulen sind überwiegend innenstadtnah und in direkter Nähe zur Hildesheimer Neustadt gelegen. In südlicher Randlage befinden sich die Universitätsstandorte (Abb. 3). Sowohl die Universität als auch die HAWK haben ihren Campus in den letzten Jahren um neue Gebäude erweitert (STADT HILDESHEIM – VUG 2014: 5, 29, INWIS 2015: 10). Mit Blick auf die Institutsverteilung lässt die innenstadtnahe Lage der HAWK-Gebäude vermutlich eher einen Begegnungsraum zwischen Studierenden und Bürger*innen zu als die vergleichsweise periphere Positionierung der Universitätsbauten (HOTZAU 1997²: 101, VOSGERAU 2005: 321). Zudem fällt eine deutliche Ballung der Wohnheime in Universitätsnähe auf, welche nach GLATTER et al. (2014: 393) die Konzentration studentischer Akteure abseits der Innenstadt begünstigt. Die meisten Umzugsströme treten campus- oder wohnheimnah auf, außerdem in bereits etablierten Szenevierteln und Studierendenvierteln. Im

Zuge des seit August 2017 gültigen, neuen Liniennetzes des SVHI wurde die Haltestelle „Goschentor“ in „HAWK-Campus“ umbenannt (SVHI 2017). Diese Maßnahme könnte bei der Studierenden wie auch nichtstudierenden Stadtbevölkerung zu einer stärkeren Sichtbarkeit und einer bewussteren raumbildlichen Verankerung des Hochschulstandorts mitsamt seinen Akteuren führen.

4.2 Lage und Kapazitäten der Hildesheimer Studierendenwohnheime

Wohnraum für Studierende sollte in hochschulnahe Wohngebiete eingebettet werden (SCHRAMM 1972²: 109). Da das knappe städtische Angebot an Wohnungen bis 60 m² verhältnismäßig teuer vermietet wird (INWIS 2015: 18, 27, INWIS 2016: 22, BBSR 2014: 15), stellt Tab. 2 die Verteilung der örtlichen Studierendenwohnheime unter Berücksichtigung der Lagebeziehungen zu den Hochschulstandorten und dem Wohnquartier Neustadt überblicksartig dar.

Tab. 2: Kapazitäten und hochschulbezogene Lagebeziehungen der Hildesheimer Studierendenwohnheime (eigene Zusammenstellung nach STW-ON 2017, 2009, KHG-WOHNHEIM HILDESHEIM o.J., STUDENTENWOHNHEIM HILDESHEIM ANNENSTRASSE 2016a, b, STUDENTENWOHNHEIM HILDESHEIM ALPHA ENERGIE SYSTEME GMBH o.J., gbg o.J., HANSEATIC STUDENTENWOHNEN GMBH 2017, KLECHA/RENTEI IMMOBILIEN MANAGEMENT UND HAUSVERWALTUNG GMBH o.J., UNIVERSITÄT HILDESHEIM 2017c).

Wohnheime	Baujahr	Plätze	Wohnform	Größe (m ²)	Preise	Entfernung Hochschule
Blauer Kamp	1983	170	App., WGs; Wohnung	11-30 56	198-471 € 564 €	Uni 0,8 km HAWK 1,8 km HR Nord 2,4 km
Hansering	1992	131	WGs	12-16	204-267 €	Uni 1 km HAWK 2,9 km HR Nord 3,6 km
Auf der Höhe	2007/ 2011	143	Einzelapp.	25-27	ab 199 €	Uni 1 km HAWK 2,8 km HR Nord 3,6 km
Hildesheim	k.A.	126	WGs	12	199-214 €	Uni 0,5 km HAWK 2,6 km HR Nord 3,3 km
Apart Me	2014	89	Einzel- und Doppelapp.	15-42	275 €, 430 €	Uni 3,3 km HAWK 1,7 km HR Nord 1,4 km
Annenstraße	k.A.	55	EZ, WGs	ab 11	160-250 €	Uni 2,0 km HAWK 0,4 km HR Nord 0,9 km
Bunsen- Factory	2009	68	Einzelapp., WGs, Wohnungen	16-39	275-385 €	Uni 4,3 km HAWK 2,8 km HR Nord 2,6 km
KHG	k.A.	96	WGs	16-26	200-263 €	Uni 0,7 km HAWK 2,7 km HR Nord 3,4 km

Die Unterkünfte wurden zwischen 1983 und 2014 erbaut und verfügen durchschnittlich über 19 m² große Wohneinheiten, welche einen Mietpreis von 400 €¹ zumeist nicht überschreiten. Obwohl die

¹ Die Mietpreise der Studierendenwohnheime „Hildesheim“ und „Apart Me“ verstehen sich inklusive Nebenkosten und Internetgebühren.

bevorzugten Wohngrößen (HEINZELMANN 2007: 27, BBSR 2014: 15) angeboten werden, blieb die Unterbringungsquote im Wintersemester 2014/15 mit knapp 7% (DSW 2015: 13) unter dem Bundesdurchschnitt von 10,6% (GLATTER et al. 2014: 388). Fünf der acht Wohnheime befinden sich im Umkreis von einem Kilometer zur Universität. Studierende der Fachhochschulen finden ein vergleichbares Angebot nur in den Wohnheimen „Apart Me“ und der „Annenstraße“, dem Wohnheim mit dem kleinsten Wohnraumkontingent, oder in zwei bis dreieinhalb Kilometern Entfernung vor. Bei ÖPNV-Nutzung ergeben sich aufgrund der Straßenführung teilweise längere Wegstrecken.

5 Methodisches Vorgehen

5.1 Hypothesen

Nachdem einleitend auf das gegenwärtige Forschungsdefizit zum Themenfeld des studentischen Wohnens auf lokaler Ebene aufmerksam gemacht wurde, soll mit der Studie über den Hildesheimer Stadtteil Neustadt ein aktueller Beitrag den bisherigen Bestand unter folgender Fragestellung erweitern:

Fragestellung: Wie kann die Hildesheimer Neustadt für Studierende als Wohnstandort attraktiver werden, und wie kann dabei eine Identifikation mit dem Stadtteil unterstützt werden?

Hierzu werden folgende Hypothesen formuliert:

Hypothese 1a: Der Bekanntheitsgrad der Hildesheimer Neustadt nimmt mit zunehmender Entfernung des Wohnortes der Studierenden ab. Negative Aspekte werden dagegen zunehmend stärker wahrgenommen.

Hypothese 1b: Das Quartier Neustadt wird derzeit überwiegend von bereits in Hildesheim ansässigen Studierenden als möglicher zukünftiger Wohnort in Betracht gezogen.

Die Hypothesen basieren auf Erkenntnissen der Perzeptionsforschung, wonach Räume von außen bewertet und dabei von individuellen Vorurteilen beeinflusst werden. Erst die direkte Konfrontation mit dem Realraum führt zur Reflexion und gegebenenfalls Neubewertung des Raums (HOFMEISTER 1994⁶: 210, HOTZAU 1997²: 201, FASSMANN 2004: 27, HEINEBERG 2014⁴: 275, VOSGERAU 2005: 343, 348, FRIEBERTSHÄUSER 1992: 145).

Zu den bevorzugten Wohngegenden von Studierenden gehören Stadtteile, in denen sich durch andere Studierende bereits eine Szenekultur mit entsprechenden Freizeitangeboten entwickelt hat (VOSGERAU 2005: 47, 372, FRIEBERTSHÄUSER 1992: 101, GLATTER et al. 2014: 393, 395). Das Freizeitangebot in der Neustadt orientiert sich bisher kaum an der studentischen Nachfrage (INITIATIVE NEUSTADT 2014: 17-19).

Daraus ergibt sich die folgende zweite Hypothese:

Hypothese 2: Die Angebotswünsche der Studierenden legen offen, wodurch studentisches Flair erzeugt und potentiell eine Identifikation mit dem Wohnviertel erreicht werden kann und woran es dem Stadtteil aus studentischer Perspektive derzeit noch fehlt.

5.2 Datenerhebung

Die empirische Studie basiert auf einer weitestgehend standardisierten Online-Befragung von insgesamt $n = 1.134$ der $N = 11.187$ Studierenden an der Universität Hildesheim, der HAWK und der HR Nord, die im Sommersemester 2017 an einer der drei Hildesheimer Hochschulen immatrikuliert waren. Nach WEBER & BRAKE (2005: 65) gelten für die „Fragebogengestaltung und Itemformulierung von

webbasierten Fragebögen vergleichbare Standards [...] [wie] [...] für Papierfragebögen“. Die Konzeption des Fragebogens orientierte sich daher sowohl an den Leitlinien schriftlicher als auch webbasierter Befragungen zur empirischen Sozialforschung (MEIER KRUKER & RAUH 2005: 92-98, ATTESLANDER 2010¹³: 156f., MAYER 2013⁶: 80, 91,104, REUBER & PFAFFENBACH 2005: 68-85, AMIANI et al. 2011: 30, WEBER & BRAKE 2005: 65-70, BRAKE 2005: 40-42, SCHONLAU 2002: 41-50).

Begleitend wurden thematisch verwandte Studien der Universitäten Bremen (MOSSIG & TKACZICK 2010, MOSSIG et al. 2015) und Potsdam (SEEGER & KAMINSKI 2010: 44-45, SCHRÖDER 2010: 58-61), der Hochschule Coburg (AMIANI et al. 2011), die 20. Sozialerhebung des Studentenwerks (BMBF 2015, WANK et al. 2009, WILLIGE & ISLEIB 2013) und die Befunde einer Einzelhandelsanalyse der Neustadt (INITIATIVE NEUSTADT 2014) bei der Fragensauswahl zurate gezogen. Die Auswahl der Neustädter Aktivitäten erfolgte auf der Grundlage derjenigen Angebote, welche von der Initiative Neustadt wiederholt auf deren Internetpräsenz beworben wurden (INITIATIVE NEUSTADT o.J.a, b, RADIO TONKUHLE 2015). Im Vorfeld der Befragung wurde ein Pre-Test in geeignetem Umfang (16 Pers.) durchgeführt. Der Onlinefragebogen wurde mittels SoSci Survey realisiert und den Teilnehmer*innen auf www.soscisurvey.de zur Verfügung gestellt.

Internetgestützte Befragungen gewinnen in der wissenschaftlichen Forschungspraxis zunehmend an Bedeutung (MAYER 2013⁶: 104, MEIER KRUKER & RAUH 2005: 90, FRICKER & SCHONLAU 2002: 348). In dieser Studie wurde die webbasierte Methode aus folgenden Gründen ausgewählt: Sie bietet besonders bei großen Stichproben eine zeit- und kostengünstige Alternative zu persönlichen Interviews. Antwortverzerrungen durch Interviewereffekte unterbleiben. Automatische Filterungen erleichtern die Bearbeitung des Fragebogens und vermeiden Irritation der Befragten. Die Zielgruppe kann über hochschulinterne E-Mail- Verteilersysteme erreicht werden, wodurch sie Ort und Zeit des Interviews nahezu frei wählen kann (WEBER & BRAKE 2005: 75-77, MEIER KRUKER & RAUH 2005: 100-101, REUBER & PFAFFENBACH 2005: 91-92, ATTESLANDER 2010¹³: 157, 166, MAYER 2013⁶: 101, 104-105). Im Anschluss stehen die Daten direkt zur Verfügung, ohne dass eine fehlerbehaftete manuelle Digitalisierung vorgenommen werden muss. So ist eine erleichterte automatisierte Auswertung möglich (MAYER 2013⁶:70).

Neben den oben aufgeführten positiven Effekten soll jedoch auch auf etwaige nachteilige Einflussgrößen von Online-Befragungen hingewiesen werden. Bei dieser Studie handelt es sich um eine selbstrekrutierte Stichprobe und somit keine echte Zufallsstichprobe. Zudem ist die Bearbeitungssituation der Teilnehmenden beim Ausfüllen der Fragebögen für den Interviewer nicht kontrollierbar. Die Rücklaufquoten von Online-Erhebungen sind i.d.R. deutlich geringer als bei postalischen oder persönlichen Interviews, wohingegen unvollständige oder abgebrochene Datensätze häufiger auftreten. Je nach benutzter Plattform und verwendetem Browser können die Darstellungen und Ladezeiten des Fragebogens variieren (WEBER & BRAKE 2005: 77-79, MEIER KRUKER & RAUH 2005: 101, REUBER & PFAFFENBACH 2005: 87, ATTESLANDER 2010¹³: 157, 166, MAYER 2013⁶: 101, 105, KAST⁴ 2016: 51-52). Die technischen Anforderungen im Zuge der Fragebogengestaltung und -verteilung innerhalb der Zielgruppe sind ungleich komplexer als bei Papierfragebögen und werden häufig unterschätzt, während der oben genannten Zeitersparnis gleichzeitig oft zu viel Bedeutung zugeschrieben wird (FRICKER & SCHONLAU 2002: 355-357, 362, SCHONLAU 2002: 76-79). Diese Einflüsse können Einbußen in der Repräsentativität nach sich ziehen und somit die generelle Aussagekraft der Ergebnisse schmälern. WEBER & BRAKE (2005: 78) weisen jedoch darauf hin, dass „stichprobenbedingte Verzerrungen [...] sich teilweise [erübrigen], wenn die Untersuchung auf eine Grundgesamtheit zielt, die klar abgegrenzt ist und deren Mitglieder nicht nur vollständig bekannt, sondern komplett über Internet bzw. Intranet erreichbar sind“.

Die Zusammensetzung der Stichprobe im Vergleich zur Grundgesamtheit ist Tab. 3 zu entnehmen. Insgesamt studieren an allen drei Hochschulen wesentlich mehr Frauen als Männer. Der hohe Frauenanteil kommt in der Stichprobe mit 77%² jedoch stärker zum Ausdruck als in der Grundgesamtheit (67%), wodurch die männlichen Studierenden leicht unterrepräsentiert sind. Gemessen an der Größe der Bildungseinrichtungen stellt die Universität Hildesheim den Hauptteil der Zielgruppe, welches sich auch in der Stichprobe niederschlägt.

Bei einer Beteiligung von 10% der Studierenden lassen sich aus den Befunden grundlegende Tendenzen ableiten. Repräsentativitätsansprüche sind hinsichtlich des selbstrekrutierenden Charakters der Teilnehmer*innen jedoch mit Vorsicht zu formulieren (FRÜH 2015: 100-101, ZIERER et al. 2013: 129, MAYER⁶ 2013: 105, ATTESLANDER 2010¹³: 168, REUBER & PFAFFENBACH 2005: 87, KAST⁴ 2016: 51-52).

Tab. 3: Zusammensetzung der Stichprobe im Vergleich zur Grundgesamtheit der Studierenden in Hildesheim im SoSe 2017, differenziert nach Geschlecht und Hochschule (eigene Erhebung mit Hilfe von HENNIGES 2017a (Stand: 21.05.2017), LOMP 2017 (Stand: 09.06.2017), PASCHKE 2017a (Stand: 24.05.2017).

Merkmal	Stichprobe			Grundgesamtheit	
	abs.	in %		abs.	in %
Geschlecht*			(abzgl. fehlend)		
weiblich	633	56%	(77%)	7.463	67%
männlich	165	15%	(20%)	3.715	33%
anderes	4	<1%	(1%)		
keine Angabe	20	2%	(<1%)		
fehlend	312	28%			
Insgesamt	1.134	101%	(98%)	11.178	100%
Hochschule					
Universität Hildesheim	980	86%	(\pm 13% N)	7.614	68%
HAWK Standort Hildesheim	124	11%	(\pm 4% N)	3.235	29%
HR Nord	29	3%	(\pm 9% N)	329	3%
keine Angabe	1	0%			
Insgesamt	1.134	100%		11.178	100%

* Es wurden nur Teilnehmer*innen erfasst, welche das Ende des Fragebogens erreicht haben.

5.3 Datenauswertung

Die standardisiert erhobenen Daten wurden mit Hilfe quantitativer Auswertungsverfahren analysiert. Hierfür wurden Verfahren der deskriptiven Statistik angewendet, was beispielsweise die Darstellung von Häufigkeiten oder die Berechnung statistischer Maßzahlen wie Lage- und Streuungsparameter beinhaltet (MEIER KRUKER & RAUH 2005, ATTESLANDER 2010¹³). Zur Verdichtung des Datenmaterials und leichteren Erfassung der zentralen Aussagen wurden verschiedene Tabellen und Grafiken angefertigt.

Die Auswertung der Freitextkommentare erfolgte mittels der Integrativen Inhaltsanalyse, welche darauf abzielt, in der Zusammenfügung aller Analyseeinheiten strukturelle Erkenntnisse zu gewinnen, die am einzelnen Element nicht deutlich werden können (FRÜH 2015: 69, ZIERER et al. 2013: 130, MAY-

² Es ist zu beachten, dass im Rahmen dieser Studie aufgrund von Rundungsfehlern in den erstellten Grafiken und Tabellen die Anteilssummen nicht in allen Fällen genau 100% erreichen.

RING 2003: 58). Hierfür wurde aus der Forschungsfrage ein Kategoriensystem hergeleitet. Dabei ergaben sich in Anlehnung an die Wohnsitze der Studierenden die Hauptkategorien *Neustadt, Hildesheim (ohne Neustadt), außerorts* und *insgesamt* mit jeweils 18 Subkategorien. Um den Interpretationsspielraum bei der Zuordnung möglichst gering zu halten, wurden alle Kategorien nach Indikatoren definiert und mit Ankerbeispielen versehen (FRÜH 2015: 40, 70, 84, 115, 120, ZIERER et al. 2013: 124, 126). In einem zweiten Schritt wurden die nominalskalierten, qualitativen Daten aus den Freitextfeldern und offenen Nennungen mittels einer Frequenzanalyse ausgezählt (FRÜH 2015: 40, ZIERER et al. 2013: 121). So konnten die forschungsrelevanten Angaben zu den Häufigkeiten der verinnerlichten Raumbilder, der studentischen Angebotswünsche und des Verständnisses von studentischem Flair gewonnen werden.

6 Ergebnisse

6.1 Studierendenalter und aktuelle Wohnsituation der Studierenden am Hochschulstandort Hildesheim

Das durchschnittliche Studierendenalter der Befragten am Hochschulstandort Hildesheim beträgt 23,5 Jahre (SD \pm 3,7 Jahre). 90% der Befragten befinden sich während ihres Studiums im dritten Lebensjahrzehnt. Davon sind etwa zwei Drittel (64%) 20 bis 24 Jahre alt. Fast alle Befragten wohnen während der Vorlesungszeit in Niedersachsen. Darunter befinden sich mehrheitlich ortsansässige Hildesheimer*innen, welche sich gebürtig (9%) oder zugezogen (69%) in Hildesheim aufhalten. 22% der Befragten pendeln zum Studieren nach Hildesheim. Bei den 97 Personen mit Neustädter Wohnsitz lassen sich vier Hauptwohnstraßen erkennen: Annenstraße (n=23), Goschenstraße (n=16), Neustädter Markt (n=10) und Wollenweberstraße (n=9).

Die Pendler*innen kommen vorwiegend aus Hannover (12%), Braunschweig (2%) und dem übrigen niedersächsischen Raum (9%). Knapp drei Viertel (71%) dieser Befragten äußern sich (sehr/eher) zufrieden über ihre Wohnsituation außerhalb Hildesheims. Nur 4% sind gar nicht zufrieden. Die wesentlichen Beweggründe für das Festhalten am Heimatort sind soziale Bindungen an Familie und Freunde sowie mehr Unternehmungsmöglichkeiten vor Ort (Abb. 4). Die Hildesheimer Wohnungsmieten und ihre räumliche Lage im Stadtgebiet spielten bei der Entscheidung für den Verbleib am Heimatort eine untergeordnete Rolle.

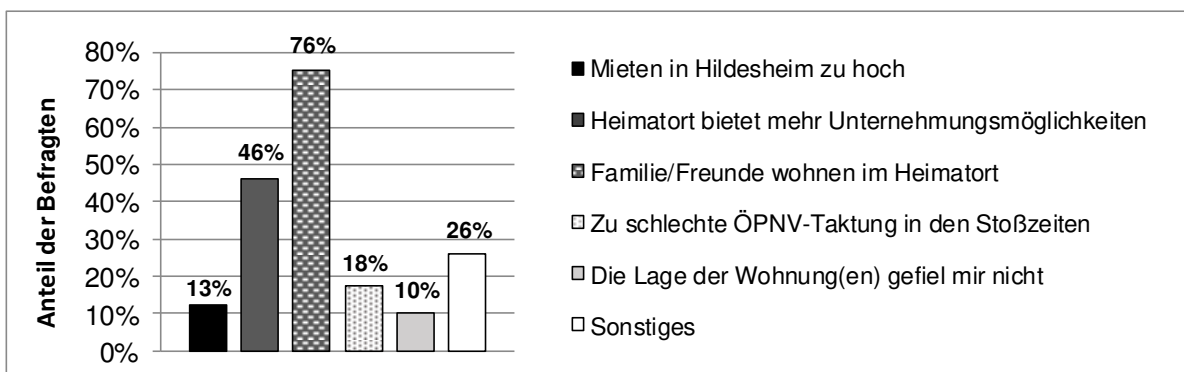


Abb. 4: Beweggründe für den Verbleib am Heimatort bei pendelnden Studierenden mit n=257.

Die Wohnsituation der Studierenden ist nicht nur durch den Wohnort, sondern auch durch die jeweilige Wohnform geprägt. Aus verschiedenen Studien geht hervor, dass Studierende häufiger Wohnformen präferieren, die derzeit nicht ihrer aktuellen Wohnform entsprechen. Dies ist besonders oft bei Student*innen der Fall, die in einem Studierendenwohnheim oder bei ihren Eltern wohnen (PEIGHAMBARI & MOSSIG 2005: 12-13, MOSSIG 2008: 19-20, WILLIGE & ISLEIB 2013: 8-9, WANK et al. 2009: 13-

14, BMBF 2015: 420-422). In Tab. 4 sind die Wohnformen der befragten Studierenden im Vergleich zum Bundesdurchschnitt dargestellt.

Tab. 4: Aktuelle Wohnformen der Studierenden mit Hervorhebung der meistgenutzten Wohnformen, differenziert nach Wohnort, im Vergleich zum Bundesdurchschnitt 2012 (eigene Erhebung, BMBF 2015: 36, 405).

Wohnform	Studierende nach Wohnort			Insgesamt (n=1.124)	BRD 2012
	Neustadt (n=97)	Hildesheim (n=877)	außerhalb (n=247)		
bei meinen Eltern (Verwandten)	1%	5%	46%	13%	23%
Wohngemeinschaft (nicht Wohnheim)	44%	44%	9%	36%	29%
Studentenwohnheim	10%	12%	<1%	10%	10%
in einer Wohnung, allein	25%	22%	11%	19%	17%
geteilte Wohnung (Beziehung, Kinder)	19%	17%	31%	20%	20%
Sonstiges (z.B. Haus, Untermiete)	1%	1%	3%	1%	1%
Summe	100%	101%	100%	99%	100%

Über ein Drittel (36%) der befragten Studierenden am Hochschulstandort Hildesheim wohnen in einer Wohngemeinschaft (WG). Damit ist die WG die am häufigsten genutzte Wohnform. Im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (29%) ist die WG bei Studierenden in Hildesheim damit deutlich häufiger vertreten. Der Anteil der Befragten, die bei den eigenen Eltern wohnen (Elternwohner), liegt mit 13% wesentlich unter dem Bundesdurchschnitt (23%). Die eigene Single-Mietwohnung (19%) wird etwas häufiger genutzt als bei den Studierenden in ganz Deutschland, der Anteil der Wohnheimbewohner*innen (10%) gleicht dem Bundesdurchschnitt. Zwischen den ortsansässigen und den pendelnden Studierenden zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede. Fast die Hälfte (45%) der befragten Studierenden, die nicht in Hildesheim wohnen, leben noch daheim bei den Eltern. Innerhalb des Stadtgebiets trifft dies nur auf 5% der Befragten zu. Auch die gemeinsame Mietwohnung (Beziehung, Kinder) ist unter den Pendler*innen (31%) annähernd doppelt so häufig vertreten wie bei den am Studienort wohnenden Studierenden (17%). Wohngemeinschaften werden von den befragten Pendler*innen seltener gebildet (9%), Studierendenwohnheime stellen eine Ausnahme dar (<1%). Zwischen den Studierenden mit Neustädter Wohnsitz bestehen im Vergleich zur Gesamtstadt allenfalls geringfügige Unterschiede. Die Anteile der Elternwohner und Wohnheimbewohner*innen (1% bzw. 10%) fallen niedriger aus, während die Mietwohnung alleine (25%) oder geteilt mit Partner*in/Kindern (19%) etwas stärker vertretene Wohnformen darstellen.

Die untergeordnete Relevanz der Studierendenwohnheime ist bei der weiteren Analyse zu beachten, da es sich um eine vergleichsweise preisgünstige, wenn auch weniger beliebte Wohnform handelt (WANK et al. 2009, MOSSIG 2008, PEIGHAMBARI & MOSSIG 2005).

Ähnlich wie im bundesweiten Vergleich zeigt sich, dass sich die befragten Studierenden vorwiegend über das Internet (74%) und im persönlichen Umfeld (22%) über Wohnraumangebote informieren. Aushänge und schwarze Bretter der Hochschulen (15%) sowie Zeitungsinserate (11%) sind weitere Anlaufstellen für Wohnungsgesuche. Makler werden eher selten beauftragt (3%) (Abb. 5). Die Erkenntnisse können dabei helfen, freie Wohnraumangebote zukünftig adressatengerechter zu bewerben.

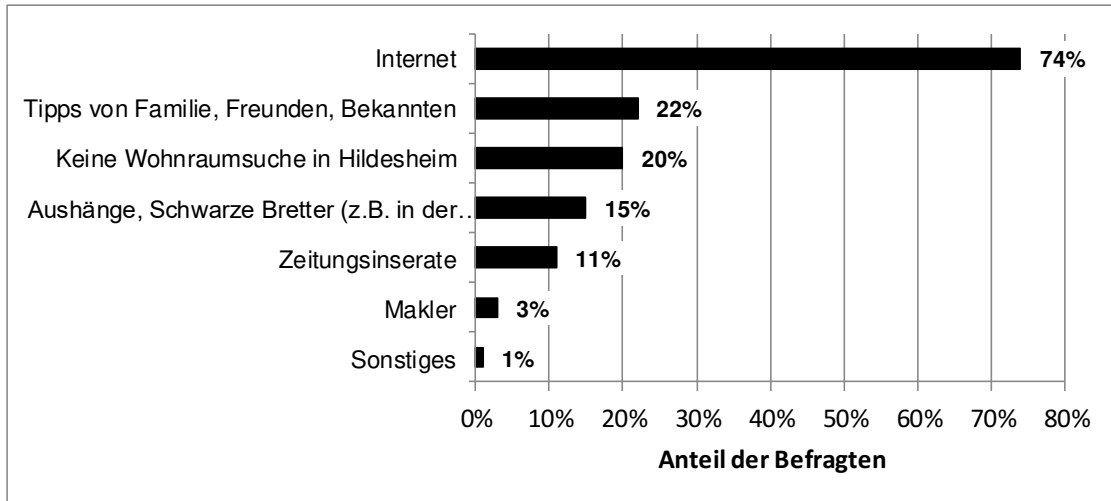


Abb. 5: Genutzte Informationsquellen der Studierenden in Hildesheim bei der Wohnraumsuche mit n=1.126 (Mehrfachantworten möglich).

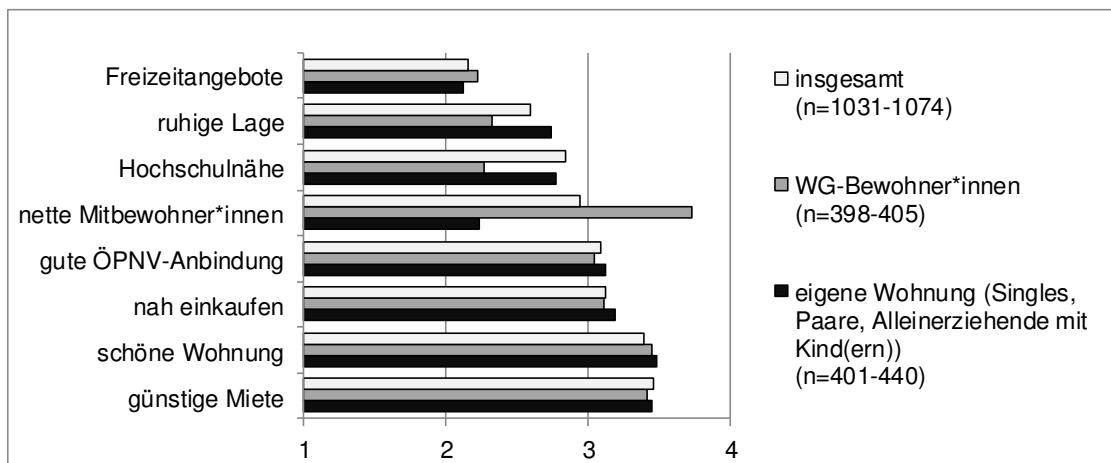


Abb. 6: Kriterien der Wohnortwahl (gemittelte Werte von 1 $\hat{=}$ unwichtig bis 4 $\hat{=}$ sehr wichtig) von Hochschulstudierenden in Hildesheim, differenziert nach den häufigsten Wohnformen.

Um die Kriterien zu erfassen, die den Studierenden bei der Wohnortwahl besonders wichtig waren, sollten die befragten Personen in acht vorgegebenen Kategorien eine Bewertung anhand einer Skala von 4 (sehr wichtig) bis 1 (unwichtig) vornehmen. Neben dem Gesamtbild werden die am häufigsten vertretenen Wohnformen WG und eigene Mietwohnung, welche für die Planung von weiterem Wohnraum in der Neustadt bedeutsam sein können, differenziert betrachtet. Abbildung 6 verdeutlicht, dass der Mietpreis mit einem Mittelwert von 3,5 für die Studierenden das wichtigste Kriterium darstellt. Für 96% der Befragten ist eine am studentischen Bedarf orientierte Miete, unabhängig von den hier betrachteten Wohnformen, sehr oder eher wichtig. Einen vergleichbaren Stellenwert nimmt die Beschaffenheit der Wohnung ein (Mittelwert 3,5), welche für 91% der Studierenden ein wichtiges Kriterium ist. Auf den Rängen drei und vier folgen mit etwas Abstand die Kriterien, in der Nähe der Wohnung einkaufen zu können und gut an den ÖPNV angebunden zu sein (Mittelwerte 3,1). Bei diesen vier Kriterien weichen die Werte der betrachteten Wohnformen kaum voneinander ab. Deutliche Unterschiede hinsichtlich der gewählten Wohnform lassen sich bei den Kriterien „nette Mitbewohner*innen“ sowie „ruhige Lage in der Nähe des Hochschulorts“ erkennen. Leben die Befragten in einer WG, ist ein freundlich soziales Klima innerhalb der WG für 96% (Mittelwert 3,7) genauso wichtig, wenn nicht sogar wichtiger als günstige Mietpreise. Für Paare oder Singles mit eigener Mietwoh-

nung tritt dieser Aspekt deutlich in den Hintergrund (Mittelwert 2,2). Insgesamt ist den Studierenden eine günstige und schöne Wohnung zumeist wichtiger als kurze Wege zur Hochschule und ein geringer Lärmpegel im Wohnumfeld. Das lokale Freizeitangebot ist für alle Befragten gleichermaßen nachrangig (Mittelwert 2,2). Nur ein Drittel der Studierenden legte bei der Wahl des Wohnortes besonderen Wert auf diesen Aspekt.

6.2 Die Hildesheimer Neustadt aus studentischer Perspektive

Wie ein Stadtviertel wahrgenommen wird, ist eng mit persönlichen Vorlieben, Vorwissen und Vorurteilen verbunden (FASSMANN 2004: 27, HEINEBERG 2014⁴: 275). So entstehen je nach Betrachter*in vielschichtige Images über einen Ort, welche Wanderungsverhalten fördern oder hemmen können (VOSGERAU 2005: 343, 348, HEINEBERG 2017⁵: 174). Um das vielfältige Meinungsbild der Befragten angemessen zu erfassen, wurde im Rahmen der Befragung eine offene Frage gestellt. Die Studierenden sollten ohne den Einfluss vorgegebener Kategorien drei Merkmale benennen, die ihrer Ansicht nach die Hildesheimer Neustadt charakterisieren. Anschließend wurden ähnliche Aussagen zu Merkmalskategorien zusammengefasst. Somit ergaben sich für die Neustadt je nach Wohnsitz der Befragten die in Tab. 5 wiedergegebenen Raumbilder. Neustädter Studierende, welche im Verlauf der Befragung angaben, auch in Zukunft sehr gerne im Quartier Neustadt wohnhaft zu bleiben (Abb. 9), wurden zudem nach ihren Beweggründen befragt. Die in Tabelle 5 enthaltene Definition des Begriffs „studentisches Flair“ und die Angebotswünsche der Studierenden wurden über dasselbe Verfahren erfasst und analysiert. Auf diese Weise lassen sich die aktuellen Raumbilder der Neustadt mit der allgemeinen studentischen Auffassung von studentischem Flair vergleichen und im Zusammenhang mit den mehrheitlich gewünschten Angeboten betrachten.

Die ansässigen Neustädter Studierenden verbinden mit ihrem Viertel vor allem ein zentral gelegenes, hochschulnahes und gut angebundenes Wohngebiet (89%) mit dörflich-idyllischem Charakter (31%) und kurzen Wegen ins Grüne (28%). Ein Fünftel (18%) der Befragten verwies auf die Fachwerkhäuser. Toleranz, aber auch negative Aspekte, werden von je einem Sechstel als charakteristisch eingestuft. Unter den Befragten fanden sich mit 5% fast keine Personen, die keine Vorstellung von ihrem Stadtteil verinnerlicht hatten. Unter den 70 Neustädter*innen, welche zukünftig sehr gern im Quartier wohnhaft bleiben möchten, werden die drei Charakteristika Lage/Anbindung, dörflich-idyllisch und Grün besonders stark mit Wohlfühlwert verbunden. Ebenso sei wirtschaftlicher Aufschwung im Viertel spürbar geworden: „Der Stadtteil entwickelt sich gerade positiv. Geschäfte machen auf statt zu, Einzelhandel statt Ketten“(TN).

Zentralität und Hochschulnähe (34%) werden auch von Studierenden aus anderen Hildesheimer Stadtteilen häufig als prägende Merkmale der Neustadt empfunden. Die Fachwerkhäuser (27%) werden etwas stärker wahrgenommen als von den Anwohnern. Jeweils ein Viertel (25%) äußert sich negativ oder hebt die dörfliche Idylle hervor. Die deutliche Mehrheit der außerhalb der Neustadt lebenden Studierenden mit Hildesheimer Wohnsitz (43%) kann jedoch keine Merkmale nennen.

In der Wahrnehmung der einpendelnden Befragten verringert sich die Sichtbarkeit des Stadtteils im Vergleich zu den Hildesheimer*innen nochmals erheblich. Mehr als drei Viertel (78%) haben kein Raumbild von der Neustadt oder wissen nicht, wo diese sich befindet. Als zweitstärkste Meinung überwiegen negative Sichtweisen (18%) und 8% der Pendler*innen verweisen auf die ÖPNV-Anbindung. Bei jeweils 7% der Befragten findet sich ein fachwerklich-dörflich geprägtes Raumbild wieder.

Tab. 5: Studentische Raumbilder der Hildesheimer Neustadt, differenziert nach Wohnort der Hildesheimer Studierenden im Vergleich zur persönlichen Auffassung von studentischem Flair und Angebotswünschen. Die drei meistgenannten Merkmale je Spalte sind mit (1) bis (3) gekennzeichnet und grau unterlegt.

Merkmale/Kategorien (max. 3 Nennungen pro Pers.)	wahrgenommene Merkmale Neustadt Studierende nach Wohnsitz			Ich schätze an der Neustadt Neustadt (n=70)	studentisches Flair insgesamt (n=620)	gewünschte Aktivitäten	
	Neustadt (n=82)	Hildesheim (ohne Neustadt) (n=596)	außerorts (n=190)			Neustadt (n=33)	insgesamt (n=320)
Gastronomie	0%	3%	0%	1%	50% (1)	64% (1)	50% (1)
bedarfsgerechtes Wohnen	5%	2%	2%	21%	29%	9%	2%
Kultur	0%	0%	0%	0%	8%	46% (2)	48% (2)
Naherholung, Grün	28% (3)	9%	2%	40% (3)	29%	12%	16%
Sport	0%	0%	0%	0%	2%	15%	17%
Einkaufen	13%	8%	0%	6%	33%	12%	15%
Toleranz, Vielfalt	16%	5%	2%	43%* (2)	18%	0%	3%
Fachwerkhäuser, alte Bauten	18%	27% (3)	7%	11%	2%	0%	0%
Nachbarschaftskontakte	4%	0%	0%	0%	6%	18%	11%
ÖPNV-Anbindung, Lage, Hochschulnähe	89% (1)	34% (2)	8% (3)	100% (1)	47% (2)	0%	4%
dörflich-idyllisch, schön	31% (2)	17%	7%	43%*(2)	1%	0%	0%
studentisch/jung, lebendig-kreativ	6%	8%	4%	0%	43% (3)	0%	0%
Freizeitangebote	11%	6%	0%	4%	18%	27% (3)	37% (3)
ruhig	9%	8%	2%	29%	5%	0%	0%
Negatives	16%	25%	18% (2)	-	1%	0%	-
kein Bedarf	-	-	-	-	-	6%	5%
weiß nicht	5%	43% (1)	78% (1)	0%	1%	3%	1%
sonstiges	1%	3%	4%	4%	7%	0%	2%

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei den Raumbildern aller drei befragten Personengruppen ähnliche Merkmale vertreten sind, diese jedoch je nach Entfernung zur Neustadt unterschiedlich stark präsent sind. Während die Wahrnehmung von Zentralität, dörflichem Flair und Grün mit steigender Entfernung verblasst, rücken negative Vorstellungen stärker in das Bewusstsein der Befragten. Die Neustadt an sich verschwindet hingegen mehr und mehr im dichten Nebel der Unkenntnis. Zentrale Aspekte studentischer Kulturen, wozu unter anderem Gastronomie, Kulturangebote, bedarfsgerechtes Wohnen und sportliche Aktivitäten gehören, werden von den Befragten kaum bis gar nicht wahrgenommen (0-5%). Das Image eines Studierendenviertels ist bisher allenfalls in Ansätzen erkennbar (4-8%).

Wohnstandorte mit studentischem Flair erfüllen nach Meinung der Befragten drei wesentliche Voraussetzungen: Sie verfügen über einen hohen Besitz an „kultiger, hipper“ Gastronomie (50%), befinden sich gut angebunden in zentraler und hochschulnaher Lage (47%) und beherbergen viele junge, bestenfalls studierende Menschen (43%). Das Viertel Hannover-Linden wird hierbei exemplarisch benannt. Mit deutlichem Abstand folgt bedarfsgerechter, bezahlbarer Wohnraum (1-2-Zimmer-Wohnungen oder WG-geeignet) (33%) „mit isolierten Wänden, damit man nicht alle Partys mitkriegt“ (TN). Vielfältige gesunde Einkaufsmöglichkeiten und nahegelegene Erholungsgebiete (je 29%) sind ebenfalls relevant. Tabelle 5 zeigt, dass die Neustadt bisher vor allem einen der drei Hauptfaktoren (Lage/Anbindung) und einen Nebenfaktor (Grün) sehr gut erfüllt. Der Bedarf an den übrigen Aspekten wird zum Teil sehr deutlich über die Frage „gewünschte Aktivitäten“ zum Ausdruck gebracht. Fast zwei Drittel (64%) der ansässigen Neustädter Studierenden und immerhin die Hälfte (50%) aller befragten Studierenden fordern mehr studentische Kneipen, Bars und Cafés und verweisen diesbezüglich auf die Hildesheimer Studierendenkneipe „Wohnzimmer.“ Auf den Plätzen zwei und drei rangieren kulturelle Angebote (46% Neustadt bzw. 48% insgesamt) und vielfältige Freizeitaktivitäten (27% Neustadt bzw. 37% insgesamt). Letzteres ist vor allem deshalb überraschend, weil Freizeitaktivitäten bei den Kriterien zur Wohnortwahl (Abb. 6) den geringsten Stellenwert erhielten. Insgesamt sind nur 5% der Befragten der Ansicht, dass keine weiteren studentischen Angebote erforderlich sind.

Neben allgemeinen Forderungen nach mehr Freizeitmöglichkeiten äußern einige Studierende konkrete Vorstellungen und geben Anregungen, wie das Miteinander gestärkt (Nachbarschaftschor, Nachbarschaftsspieleabende, mehr Sitz- und Grillgelegenheiten, Tauschbörsen, Bücherschrank) oder Kulturangebote gestaltet werden könnten (Sport mit Eventcharakter, z.B. „Skate by Night“, Festivals wie das „Babel“ im Marienfriedhof, Parks mit festmontierten Sportgeräten zur öffentlichen Nutzung wie in Oldenburg).

Ergänzend zu den offenen Fragen wurden den Befragten gegensätzliche Begriffspaare vorgelegt. Die Studierenden sollten auf einer fünfstufigen Skala entscheiden, welcher der beiden Begriffe auf das Quartier Neustadt zutrifft. Um Antwortverweigerungen und Messfehler möglichst gering zu halten, konnten die Teilnehmenden bei Bedarf angeben, etwas nicht beurteilen zu können. Daraus ergaben sich je nach Wohnsitz der Studierenden drei Eigenschaftsprofile der Neustadt (Abb. 7). Die Begriffspaare wurden so sortiert, dass bei jedem Eigenschaftsprofil derjenige Begriff ganz oben steht, der von den meisten Studierenden als zutreffend angekreuzt wurde.

Die Eigenschaftsprofile zeigen, dass die befragten Studierenden mit Wohnsitz im Stadtgebiet Hildesheim den positiv konnotierten Begriffen deutlich häufiger zustimmten als den negativen. Ein derart eindeutiges Meinungsbild ist bei den Befragten aus den umliegenden Ortschaften nicht zu finden. Mit zunehmender Entfernung vom Untersuchungsgebiet überwiegen wiederum besonders bei den Pendler*innen die Antworten in der Kategorie „Kann ich nicht beurteilen.“ Etwa drei Viertel der befragten studentischen Stadtteilbewohner*innen empfinden ihr Viertel als lebendig (80%), attraktiv (74%) und studierendenfreundlich (73%). Die stärksten Meinungsverschiedenheiten treten bei dem

Gegensatzpaar „ruhig – laut, hektisch“ auf. Knapp die Hälfte (47%) stufen das Quartier als ruhigen Ort ein, wohingegen 28% ihr Umfeld als laut und hektisch wahrnehmen. Geteilte Ansichten liefert zudem das Gegensatzpaar „preiswert – teuer“. 41% der Befragten beziehen keine klare Position (weder-noch), ein Drittel (34%) bezeichnet den Stadtteil als preiswert und 22% sagen, es sei teuer. Auch der Aspekt „Durchgangsviertel“ wird mit 17% relativ häufig aufgegriffen. Demgegenüber halten sich 56% der Befragten gern dort auf.

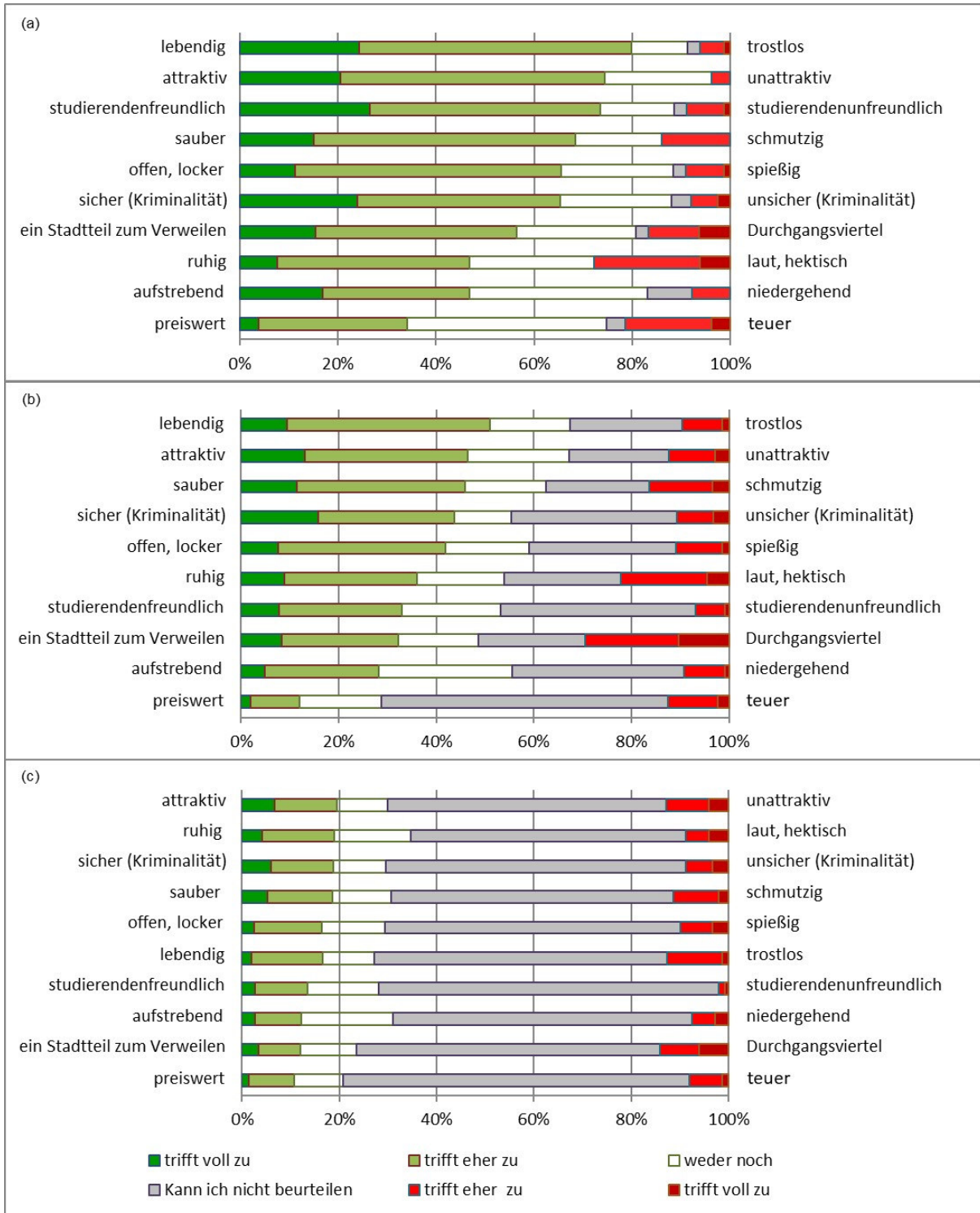


Abb. 7: Eigenschaftsprofil der Neustadt (a) aus Sicht der dort ansässigen Studierenden (n=77-79), (b) aus Sicht der Studierenden mit Wohnsitz in anderen Hildesheimer Stadtteilen (n=546-551), (c) aus Sicht der nach Hildesheim pendelnden Studierenden (n=147-151).

Die befragten Studierenden aus anderen Hildesheimer Stadtteilen nehmen die Neustadt ebenfalls besonders häufig als lebendig (51%) wahr, gefolgt von attraktiv und sauber (je 46%). Auch bei den am stärksten ausgeprägten Divergenzen – Aufenthaltsqualität und Lärmpegel – lassen sich tendenzielle Parallelen zu den Ansichten der Neustädter*innen erkennen. Zwei Drittel bezeichnen die Neustadt als ruhig, wohingegen das Viertel von 22% als laut und hektisch wahrgenommen wird. Fast jede*r dritte Befragte (30%) stimmt dem Begriff Durchgangsviertel zu, etwa genauso viele äußern sich gegenteilig (32%). Bei der Beurteilung des Preis-Leistungsverhältnisses hält sich die Mehrheit (59%) zurück. Polarisierungen sind nicht erkennbar.

Die befragten Pendler*innen sehen sich bei allen Begriffspaaren überwiegend (57-71%) nicht in der Lage, ein Urteil abzugeben. Vor allem die Eigenschaften Attraktivität (20%), Ruhe und Sicherheit (je 19%) und Studierendenfreundlichkeit (13%) lassen jedoch positive Tendenzen erkennen.

Nachdem der studentische Bedarf an freizeitleich-kulturellen Angeboten inklusive einiger konkreter Vorschläge bereits in Tabelle 5 angesprochen wurde, soll das gegenwärtig vorhandene Veranstaltungssegment genauer untersucht werden (Abb. 8). Um Aussagen über den Bekanntheitsgrad typischer Neustädter Veranstaltungen in studentischen Kreisen treffen zu können, wurden die Umfrageteilnehmer*innen aufgefordert, bei sechs regelmäßig wiederkehrenden Aktivitäten anzugeben, ob sie das Angebot kennen und/oder nutzen bzw. genutzt haben.

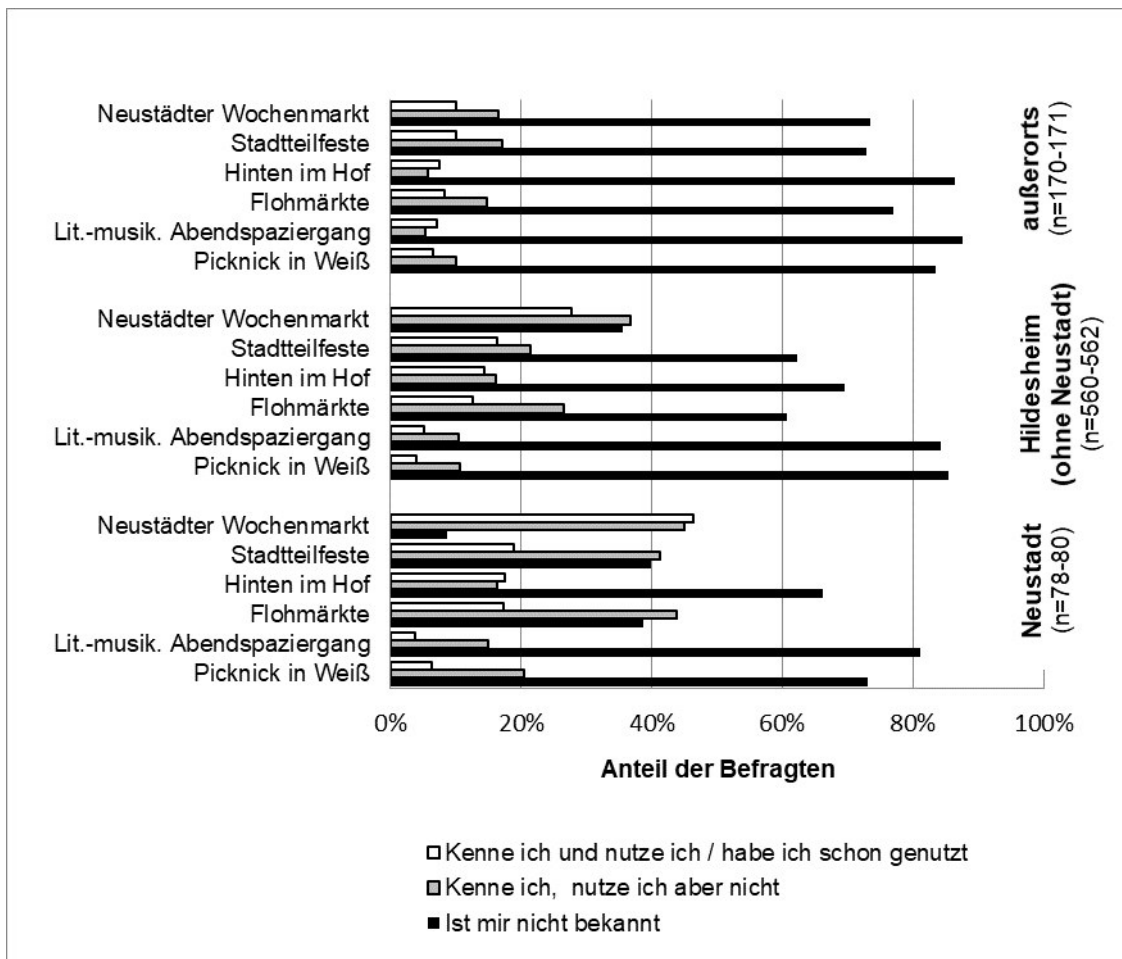


Abb. 8: Aktivitäten in der Neustadt – Bekanntheitsgrad und Nutzung bei den befragten Studierenden, differenziert nach Wohnort.

Aus Abb. 8 geht hervor, dass der Neustädter Wochenmarkt und die Stadtteilfestе bei den befragten Anlieger*innen den größten Bekanntheitsgrad genießen und auch über die Quartiers- und Stadtgrenzen hinaus noch relativ vielen Studierenden bekannt sind. Demgegenüber fällt auf, dass bis auf den Neustädter Markt, welcher 91% der befragten Anlieger bekannt ist und von annähernd der Hälfte (46%) dieser Gruppe auch genutzt wird/wurde, selbst viele Stadtteilbewohner*innen die Angebote ihres Viertels nicht kennen oder zumindest nicht nutzen. „Hinten im Hof“, „Picknick in Weiß“ und der „literarisch-musikalische Abendspaziergang“ sind derzeit bei allen Befragten noch am wenigsten bekannt. Bei den Aktivitäten „Hinten im Hof“ und „Abendspaziergang“ ist jedoch mit Blick auf die Gruppe der einpendelnden Befragten folgendes zu beobachten: Wenn die Studierenden erst einmal von den Angeboten erfahren haben, werden diese häufiger aktiv genutzt (8% bzw. 7%), als dass es nur bei dem reinen „passiven“ Wissen um diese Möglichkeit bleibt (6% bzw. 5%).

Zum Abschluss des thematischen Fragenblocks über die Neustadt sollten die Studierenden angeben, ob sie, sofern sie die Wahl hätten, ihren aktuellen Wohnort zugunsten einer Wohnstätte in der Neustadt verlassen würden (Abb. 9).

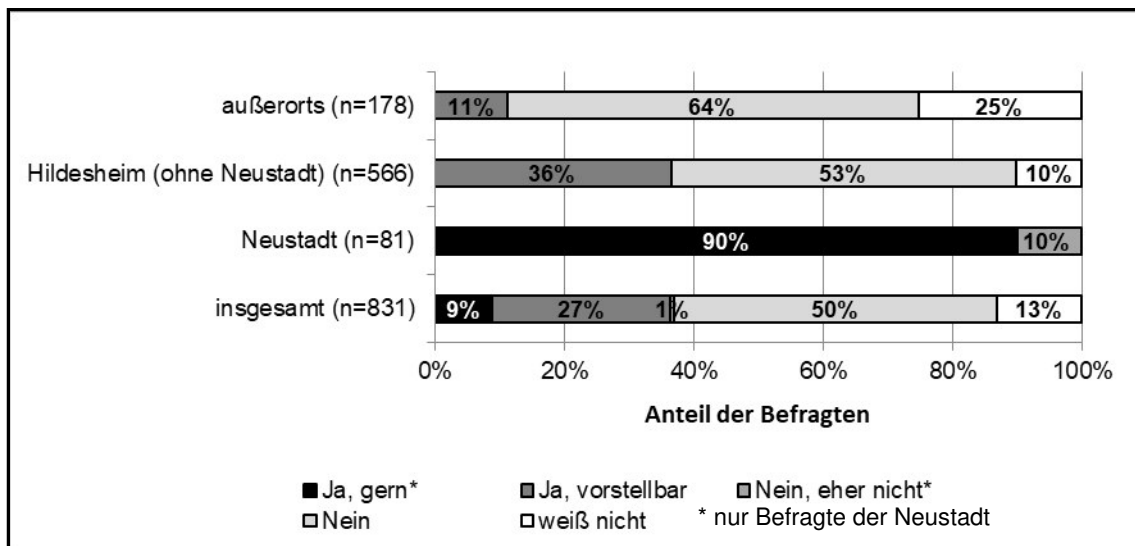


Abb. 9: Die Neustadt als zukünftiger Wunschwohnort – Gedanken der Studierenden, differenziert nach aktuellem Wohnort der Studierenden.

Demnach schließt jede*r zweite Befragte (50%) nicht per se aus, in Zukunft dorthin zuziehen. 90% der Anlieger*innen wohnen gerne in ihrem Quartier und nur 10% würden lieber woanders wohnen. Die Befragten aus anderen Hildesheimer Stadtteilen ziehen einen Wohnortwechsel derzeit überwiegend (53%) nicht in Betracht, für jede*n Dritte*n wäre diese Option jedoch denkbar (36%). Für die einpendelnden Befragten ist die Vorstellung vergleichsweise unattraktiv (11%).

6.3 Finanzrahmen der Studierenden am Hochschulstandort Hildesheim

Das persönliche Budget der Studierenden wurde über Einkommensklassen erfasst und ist in Tab. 6 für die befragten Studierenden mit Hildesheimer Wohnsitz dargestellt. Erwartungsgemäß müssen Studierende, die noch bei ihren Eltern wohnen, mit erheblich weniger Budget auskommen. Insgesamt deuten sich jedoch geschlechterspezifische Unterschiede an. Männliche Studierende, die nicht mehr im Elternhaus wohnen, verfügen demnach über mehr Budget als ihre Kommilitoninnen. Ob-

wohl der Stichprobenumfang der Befragten mit Wohnsitz bei den Eltern für verallgemeinerbare Aussagen zu gering ausfällt (BAHRENBURG et al. 2010⁵: 20-21), lassen sich auch hier ähnliche Tendenzen erkennen. Damit besteht Grund zur Annahme, dass die Studentinnen an Hildesheimer Hochschulen (gegebenenfalls nach Abzug der Mietkosten) zum Teil deutlich weniger Geld zur Verfügung haben als ihre Kommilitonen. Studien an der Universität Bremen (MOSSIG & TKACZICK 2010: 27) und der Universität Heidelberg inklusive der dortigen Pädagogischen Hochschule (MOSSIG 2008: 10) lieferten ähnliche Befunde, wobei die Unterschiede dort noch größer ausfielen.

Die durchschnittlichen monatlichen Aufwendungen für die Warmmiete der Studierenden, welche in Hildesheim wohnen, sind in Tab. 7 dargestellt. Um Verzerrungen zu vermeiden, wurden die Studierenden, die noch in der elterlichen Wohnung wohnen, nicht berücksichtigt. Im Durchschnitt geben die befragten ortsansässigen Studierenden 284,09 € im Monat für die Warmmiete aus. Die Beträge enthalten jedoch keine Nebenkosten, weshalb von bundesweiten Vergleichen abgesehen wird. Die Mietausgaben der männlichen Studierenden liegen mit 295,72 € im Mittel 14,55 € oberhalb der Ausgaben ihrer weiblichen Mits Studierenden (281,17 €) und weisen eine etwas geringere Streuung auf. Die Mediane, welche resistenter gegenüber Extremwerten sind, zeigen eine Differenz von 10 € zwischen den Geschlechtern.

Tab. 6: Durchschnittliches monatliches Budget der Studierenden an Hildesheimer Hochschulen mit Wohnsitz in Hildesheim, die bei ihren Eltern wohnen im Vergleich zu denen, die nicht bei den Eltern wohnen, differenziert nach Geschlecht*.

Wohnform + Geschlecht	Budgetklasse (in €)									Summe
	< 200	200-300	301-400	401-500	501-600	601-700	701-800	801-1000	> 1000	
Elternwohner weiblich	4	3	4	2	1	0	0	1	0	15
Elternwohner männlich	2	3	0	0	0	1	0	2	0	8
Nicht- Elternwohner weiblich	6	43	36	73	80	95	53	53	29	468
Nicht- Elternwohner männlich	2	11	10	9	22	16	20	13	15	118

Tab. 7: Durchschnittliche monatliche Mietausgaben der Studierenden an Hildesheimer Hochschulen mit Wohnsitz in Hildesheim, die nicht bei ihren Eltern wohnen, differenziert nach Geschlecht*.

durchschnittliche monatliche Mietausgaben von Studierenden mit Wohnsitz in Hildesheim			
Geschlecht	Warmmiete	SD	Md
weiblich (n=418)	281,17 €	± 113 €	260 €
männlich (n=105)	295,72 €	± 92 €	270 €
Insgesamt (n= 523)	284,09 €	± 109 €	263 €

*Aufgrund zu geringen Fallzahlen konnten Personen mit anderen Geschlechtsangaben nicht berücksichtigt werden.

Mit Blick auf die jeweiligen Wohnformen der befragten Studierenden, welche nicht mehr bei ihren Eltern wohnen und ihre Wohnstätte in Hildesheim haben, lassen sich ebenfalls deutliche Unterschiede bezüglich der Mietausgaben feststellen. Verglichen mit dem Durchschnittswert von 284 € ist die eigene Mietwohnung (allein 333 €; geteilt 332 €) erheblich teurer. Ob die Wohnung als Singlehaushalt oder im Rahmen einer Beziehung/eigenen Familie als Mehrpersonenhaushalt geführt wird, hat dabei anscheinend keinen nennenswerten Einfluss auf die Mietkosten pro Kopf. Die besonders häufig gewählte Wohnform der Wohngemeinschaft stellt mit einer mittleren Warmmiete von 248 € zugleich die günstigste Wohnform für ortsansässige Hildesheimer Studierende dar. WG-Bewohner*innen zahlen im Mittel 36 € weniger als der Durchschnitt. Für Bewohner*innen von Studierendenwohnheimen fallen die Mietkosten ebenfalls etwas geringer (268 €) aus.

Abschließend soll der Finanzrahmen der Studierenden, die nicht mehr bei ihren Eltern wohnen, nach deren derzeitigem Wohnort differenziert betrachtet werden. Dazu werden die Mietausgaben und das Budget der Studierenden mit Wohnsitz in der Neustadt mit den Angaben von Studierenden aus anderen Hildesheimer Stadtteilen, aus Hildesheim insgesamt und von außerhalb des Stadtgebiets einpendelnden Studierenden miteinander verglichen (Tab. 8).

Tab. 8: Durchschnittliche monatliche der Studierenden an Hildesheimer Hochschulen, die nicht bei ihren Eltern wohnen, differenziert nach Wohnort.

Wohnort	durchschnittliche Warmmiete (in €)	Zahl der Antworten
Neustadt	313	n=66
Hildesheim (ohne Neustadt)	278	n=467
Hildesheim (insg.)	283	n=537
außerorts	340	n=77

Tab. 8 zeigt, dass sowohl die mittleren Warmmieten der einpendelnden Studierenden (340 €) als auch diejenigen der befragten Neustadtbewohner*innen (313 €) erheblich über den Mietpreisen anderer Hildesheimer Stadtteile (278 €) liegen. Im direkten Vergleich der Warmmieten von Hildesheimer Wohnheimen und anderen Wohnformen zeigt sich, dass die Wohnheime mehrheitlich im Bereich der Wohnungsmieten liegen, aber auch deutlich hochpreisiger ausfallen können. Das Neustädter Wohnheim Annenstraße ist besonders günstig. Da die Kosten für Strom- und Internetnutzung nicht in den Mietangaben der befragten Studierenden enthalten sind, jedoch teilweise bereits in den Wohnheimmieten berücksichtigt wurden, sind verallgemeinerbare Vergleiche und darauf basierende Schlussfolgerungen an dieser Stelle jedoch nicht sinnvoll.

7 Diskussion

7.1 Hypothesendiskussion und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Bezüglich der formulierten Hypothesen zeigen sich sowohl übereinstimmende als auch abweichende Ergebnisse. Einerseits konnte die Annahme, der Bekanntheitsgrad des Quartiers Neustadt würde mit zunehmender Entfernung des Wohnortes der Studierenden abnehmen (Hypothese 1a, Teil 1), gestützt werden. Sowohl die Ausprägungen der eigenen Bewertungen als auch die Eigenschaftsprofile über das Viertel offenbaren vor allem bei den pendelnden Befragten ein Raumbild, das in weiten Teilen noch gar nicht definiert und vordergründig von Ratlosigkeit geprägt ist. Da diese Ratlosigkeit be-

reits außerhalb der Stadtteilgrenzen bei 25% bis 43% der Teilnehmenden als stabiles, wiederkehrendes Merkmal auftritt, lässt zudem vermuten, dass das durchaus positiv wahrgenommene Raumbild der ansässigen studentischen Bevölkerung bisher nicht nach außen getragen werden konnte. Für die Hypothese 1a (Teil 1) spricht auch der geringe Nutzungs- und Bekanntheitsgrad des bestehenden Veranstaltungsangebots im Stadtteil. Vielmehr stellte sich heraus, dass die meisten dieser regelmäßig stattfindenden Stadtteilveranstaltungen – mit Ausnahme des Neustädter Wochenmarktes und der Stadtteilstadt – auch unter den studentischen Quartiersbewohner*innen noch weitestgehend unbekannt sind.

Der zweite Teil der Hypothese 1a, welcher besagt, dass negative Aspekte der Neustadt von nicht ansässigen Studierenden stärker wahrgenommen werden, wurde durch die erhobenen Daten entkräftet. Nur jene Raumbilder, welche frei von vorgegebenen Kategorien entstanden sind, zeigen stärkere negative Tendenzen. Im Rahmen der Eigenschaftsprofile kristallisierten sich bei denjenigen, die eine klare Position bezogen, überwiegend positive Urteile heraus. Teilweise wurden positive Merkmale erst innerhalb der Kategorien als solche wahrgenommen. So bezeichneten beispielsweise nur 2% der pendelnden Befragten die Neustadt von sich aus als ruhig (prägendes Merkmal), während dies innerhalb des Eigenschaftsprofils 19% taten. Bei den Befragten aus anderen Hildesheimer Stadtteilen trat dieser Effekt in ähnlicher Weise noch deutlicher auf. Derartige Verschiebungen konnten in der Rubrik „weiß nicht/ kann ich nicht beurteilen“ nicht festgestellt werden, was nach HOTZAU (1997²: 201) auf eine gefestigte Verankerung dieser Einschätzung schließen lässt.

Derzeit ist das Wohnquartier Neustadt vor allem bei den dort lebenden Befragten sehr beliebt. Auch innerhalb des übrigen Hildesheimer Stadtgebiets schließen annähernd die Hälfte der Befragten nicht per se aus, ihren Wohnsitz zukünftig in die Neustadt zu verlagern. Für die pendelnden Studierenden stellt dies überwiegend keine Option dar. Die Ergebnisse sind somit erwartungskonform zur Hypothese 1b ausgefallen.

Das Quartier Neustadt hinterlässt bei allen Befragten einen verhältnismäßig positiven Eindruck. Diesen gilt es insbesondere bei den ortsansässigen Hildesheimer Studierenden zu stärken bzw. zuzugswilligen, neuen Studierenden, die auf der Suche nach Wohnraum sind, zu vermitteln. Einpendelnde Studierende nehmen die weiten Wegstrecken vor allem aus sozialen Gründen in Kauf. Sie wohnen am häufigsten noch bei ihren Eltern oder bewohnen im Rahmen einer festen Partnerschaft eine eigene Wohnung. Folglich ist ihnen sehr wichtig, die Verbindung zum vertrauten familiären und sozialen Umfeld beizubehalten. Somit ist diese Gruppe kaum für einen Wohnortswechsel zu motivieren. Bei ortsansässigen Studierenden hätte ein Umzug in die Neustadt vermutlich weniger soziale Entwurzelungserscheinungen und Verluste im Freundeskreis zur Folge, da diese Kontakte aufgrund der geringeren Entfernung leichter aufrechterhalten werden können.

Ein Zusammenhang zwischen den geäußerten Angebotswünschen und dem Empfinden von studentischem Flair (Hypothese 2, Teil 1) lässt sich nur bedingt erkennen. Die Befunde liefern Hinweise dafür, dass sich die „Hildesheimer Auffassung“ von studentischem Flair von der Definition von GLATTER et al. (2014) unterscheidet. Zwar bleibt Gastronomie der wesentliche Faktor, flexible Mobilität (ÖPNV-Anbindung, zentrale Lage) und der Kontakt zu anderen Studierenden tragen nach Meinung der Befragten jedoch wesentlich mehr zur studentischen Atmosphäre bei als preiswerte Einkaufsmöglichkeiten oder Partys. Eine musikalisch-künstlerische Szenekultur stellt bei GLATTER et al. (2014) ein Merkmal dar, welches das lokale studentische Flair in Hildesheim bisher kaum prägt. Die abweichenden Schwerpunkte könnten darin begründet sein, dass sowohl der Hochschulstandort Hildesheim als auch die Stadt an sich im Vergleich zu anderen Studienorten eher familiärer gehalten sind. Gastronomische Angebote und kulturelle Aktivitäten der Neustadt werden bisher kaum bis gar nicht wahrgenommen, jedoch besonders stark gewünscht. Der Bedarf an Freizeitangeboten und Unternehmungs-

möglichkeiten kann ebenfalls als hoch eingeschätzt werden, obwohl dieser Aspekt insgesamt noch wenig zur studentischen Atmosphäre beiträgt. Die Befunde deuten in Anlehnung an BASTEN & GERHARD (2016: 126), VOSGERAU (2005: 372) und PRAUSER (2008: 149) eher darauf hin, dass der studentische Einfluss im Quartier Neustadt, aber auch in der Gesamtstadt bisher noch nicht stark genug war, um die gewünschten Veränderungen einzuleiten, die andernorts schon mit Studierendenvierteln verbunden werden. Bezüglich der geäußerten Angebotswünsche sind jedoch Parallelen zu den Studierenden in Coburg erkennbar (AMIANI et al. 2011: 60, 66-66, 75-76).

Im Vergleich zwischen den wahrgenommenen, charakteristischen Merkmalen der Neustadt und den gewünschten Aktivitäten der Studierenden kann der zweite Teil von Hypothese 2 gestützt werden. Dieser besagt, dass die Angebotswünsche offenlegen, woran es dem Stadtteil aus studentischer Perspektive derzeit noch fehlt. Gastronomie, Kultur, Sport und Nachbarschaftskontakte sind gegenwärtig sehr gering vorhanden, werden jedoch stark nachgefragt. Gleiches gilt für die allgemeiner gefasste Kategorie der Freizeitangebote. Im Umkehrschluss ist anzunehmen, dass die ÖPNV-Anbindung und die Nähe zum Grünen ebenso wie die dörfliche Atmosphäre des Stadtteils bedeutende Anreize und Bindungstreiber (INWIS 2016: 20) darstellen, welche von den dort ansässigen Studierenden sehr geschätzt werden.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen leitet sich insbesondere für die Handlungsfelder Information und Werbung deutlicher Handlungsbedarf ab. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen der Studie zum Neustädter Wochenmarkt (HAWK 2015: 21, 25-26) und lässt vermuten, dass die daraufhin eingeleiteten Werbemaßnahmen noch nicht den gewünschten Erfolg erzielten. Um das durchaus vorhandene Stadtteilangebot innerhalb und außerhalb des Quartiers sichtbarer zu machen und mehr potentielle Nutzer*innen anzusprechen, empfiehlt sich daher weiterhin, ein breites Marketingkonzept (online und offline) zu entwickeln, welches die Bürger*innen über bevorstehende Veranstaltungen, aber auch über Familien- und/oder Studierendenrabatte informiert. Informationen über barrierefreie Zugangsmöglichkeiten für mobilitätseingeschränkte Gäste sollten dabei ebenfalls mitgedacht werden. Wenn jungen und alten Bürger*innen durch Hinweise auf bauliche Barrieren, schlechte Fußwege und alternative Zugänge die Teilhabe an Veranstaltungen erleichtert wird, gelingt nicht nur ein generationenübergreifendes Veranstaltungserlebnis, sondern auch die praktische Umsetzung von Inklusion.

Über Paketangebote könnten mehrere lokale Anbieter von einem Event profitieren und das eigene Unternehmen stärken. Eine eigene Marke und ein eigenes Logo als Qualitätsmerkmal für regionale und/oder biologische Produkte, wie sie bereits für den Neustädter Markt vorgeschlagen wurde (HAWK 2015: 26), können zusätzliche Anreize schaffen, Interesse wecken und das „Wir-Gefühl“ im Viertel stärken (PRAUSER 2008: 150). Diese exklusiven Waren können in Verbindung mit weiteren hochwertigen Produkten wie Wein und Tabak aus inhabergeführten Geschäften außerdem „zahlungskräftige Kundschaft“ (BUSSE 2010: 88) anwerben, welche wiederum die soziale Durchmischung im Stadtteil fördert. Da sich aus finanzieller Sicht vermutlich nicht alle Anregungen der Befragten umsetzen lassen, bieten selbstständig organisierte Nachbarschaftsaktivitäten eine kreative Alternative zu teuren Investitionen.

Um den Eventcharakter der Neustadt bestmöglich zu fördern und werbewirksam zu profilieren, sollte nicht zuletzt ergründet werden, warum die vorhandenen Aktivitäten bisher nicht genutzt wurden. Sind die Werbemaßnahmen nicht effektiv genug? Besteht kein Interesse? Oder ist es zeitlicher Mangel? Hier gilt es, anzusetzen, weiterzudenken und Antworten zu finden.

7.2 Aktuelle studentische Wohnsituation und praxisorientierte Handlungsimpulse

Bisher wird die Hildesheimer Neustadt von den Studierenden noch nicht als Viertel mit verfügbarem angemessenen Wohnraum angesehen. Die vorliegenden Resultate verweisen auf verhältnismäßig teure Mietpreise. Um ein attraktives Wohnraumangebot zu fördern und somit künftig weitere Studierende – und mit ihnen studentisches Flair – im Stadtteil zu verankern, wäre daher zu überlegen, analog zu den Beispielen Potsdam und Bochum für die zukünftige Mietpreisgestaltung den BAföG-Satz als Orientierung heranzuziehen (SCHRÖDER 2010: 58-59, STADT BOCHUM 2007: 78). Mit Blick auf die bevorzugten Wohnformen können insbesondere für Studierende der HAWK und der HR Nord Wohngrößen bis zu zwei Zimmern oder WG-geeignete Wohnungen im Quartier Neustadt eine interessante, hochschulnahe Alternative zu den örtlichen Wohnheimen darstellen. Die räumliche Verteilung der Wohnheime begünstigt derzeit die Konzentration der Studierenden außerhalb der Neustadt. Ob die Wohnheimverteilung abmildernde Einflüsse auf die Durchmischung der Studierenden der verschiedenen Hochschulen ausübt oder aber einen Begegnungsraum schafft, bedarf hingegen weiterer Analysen. Da Wohnheime selten länger als 1,5 Jahre bewohnt werden (WANK et al. 2009: 2), sollte vordergründig in den Bindungstreiber „studierendenfreundliches Mietangebot“ investiert werden (INWIS 2016: 20). Dafür spricht auch der für westdeutsche Verhältnisse sehr geringe Anteil jener Studierenden, die noch bei ihren Eltern wohnen (GLATTER et al. 2014: 388). Die Befunde zu den bevorzugten Wohngrößen decken sich mit den Ergebnissen der örtlichen InWIS Befragung 2016 (INWIS 2016: 22-23, 26, 30) und den Beobachtungen von HEINZELMANN (2007: 27). Im Kontext sich wandelnder Lebensentwürfe sind indes auch Wohnpräferenzen einer stetigen Dynamik unterlegen (FREYTAG & MÖSSNER 2016: 83).

Alternative Nach- und Weiternutzungen im Wohnungsbau frühzeitig zu berücksichtigen wie etwa die Einrichtung eines Pflegeheims (GLATTER et al. 2014: 397) oder seniorengerechter Mietwohnungen kann durch die damit einhergehende, möglichst barrierefreie Bauweise bereits heute für Studierende mit Mobilitätseinschränkungen von großem Nutzen sein und die Diversität im Quartier und an der Hochschule fördern. Entsprechend abgestimmte Wohnheimplätze sind trotz zunehmend bunter werdender Studierendenschaft erst vereinzelt vorhanden (DSW 2015: 13, MARKMANN 2017).

Da jedoch die „Veränderung der Bevölkerungszusammensetzung [...] nicht zwingend zu einem wirklichen Zusammenleben der Bewohner im Quartier führt“ (PRAUSER 2008: 150), ist es sinnvoll, über identitätsstiftende Maßnahmen die Nutzungsmischung zu fördern und generationenübergreifende Nachbarschaftskontakte zu stärken (MUELLER-HAAGEN et al. 2014: 254, HEINEBERG 2017⁵: 172-173, 269, REITEMEIER 2016: 87). Andernfalls bleibt es bei den gegenwärtig beobachteten „Parallelwelten“ (PRAUSER 2008: 150, LENFERS in RADIO TONKUHLE 2014 [01:33-02:03], INITIATIVE NEUSTADT 2014: 19, 24). Um zugezogenen Studierenden den Einstieg in ein neues soziales Umfeld zu erleichtern, bieten sich an dieser Stelle die in der Bochumer Hustadt erprobten Strategien (STADT BOCHUM 2007: 78-79) und die Anregungen von PRAUSER (2008: 150-151) an, welche sich auf das hiesige Untersuchungsgebiet übertragen lassen. Die Ansätze werden durch lokale Untersuchungen der InWIS (2016: 29) bekräftigt und liegen mehrheitlich im Interesse der Befragten. Die stärkere Nutzung bevorzugter Informationsquellen der Zielgruppe (Internet, schwarze Bretter der Hochschulen) kann dabei helfen, das vorhandene Angebot für wohnungssuchende Studierende sichtbarer zu vermarkten. Eine gesteigerte positive Reputation der Neustadt könnte langfristig auch ein größeres Interesse pendelnder Studierender an dem Quartier wecken, da diese ihr Raumbild durch Empfehlungen vertrauenswürdiger Personen aus dem studentischen Umfeld gegebenenfalls schärfen, neu definieren (HOFMEISTER 1994⁶: 210, FASSMANN 2004: 27, FRIEBERTSHÄUSER 1992: 145) und infolgedessen eher eine entsprechende Wanderungsentscheidung treffen.

8 Fazit und Ausblick

Seit einigen Jahren wird die Bildungslandschaft Deutschlands durch steigende Studierendenzahlen und zunehmende Wohnungsengpässe geprägt. Welche Bedeutung die Studierenden für die lokalen Wohnungsmärkte haben, wurde bislang kaum wissenschaftlich erforscht. Die vorliegende Studie verfolgte daher das Ziel, die Wohnsituation der Studierenden an Hildesheimer Hochschulen, ihren frei-zeitlich-kulturellen Bedarf an Unternehmungsmöglichkeiten und ihr gegenwärtiges Image von der Hildesheimer Neustadt zu erfassen.

Auf der Grundlage von 1.134 verwertbaren Fragebögen konnte festgestellt werden, dass mehr als zwei Drittel der Befragten für ihr Studium nach Hildesheim gezogen sind. Die Wohnungssuche erfolgte überwiegend online und über das soziale Umfeld, wobei insbesondere das Internet aussichtsreiche Ansatzpunkte für die gezielte Vermarktung des Neustädter Wohnraumangebotes an potentielle zukünftige Anlieger*innen darstellt. Auf dem lokalen Wohnungsmarkt werden vor allem geeignete Wohngrößen für Wohngemeinschaften, Singles oder Paare nachgefragt. Das Mietpreisniveau innerhalb der Neustadt liegt dabei zumeist über den durchschnittlichen Aufwendungen anderer Stadtteile. Die Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass weibliche Studierende in Hildesheim durchschnittlich ein geringeres Budget zur Verfügung haben als ihre männlichen Kommilitonen. Diese Befunde decken sich mit Untersuchungen an den Universitäten Bremen und Heidelberg und indizieren ein finanzielles Ungleichgewicht, welches hausgemacht zu sein scheint. Mietpreise bilden das wichtigste Kriterium bei der Wohnortwahl. Für die Neustadt wäre daher mit Blick auf den generell starken Frauenanteil am Studienort anzuraten, die Wohnungsmieten analog der Beispiele aus Bochum und Potsdam an den BAföG-Satz anzupassen.

Der Hauptanteil aller Befragten hat derzeit entweder noch keine genaue Vorstellung von der Neustadt oder steht dieser eher positiv gegenüber. Zentralität, gute ÖPNV-Anbindung, die Nähe zum Grünen und das historisch-dörfliche Flair werden von ortsansässigen und einpendelnden Studierenden besonders häufig mit der Neustadt verbunden. Das Quartier an sich ist vielen Studierenden innerhalb und vor allem außerhalb Hildesheims noch recht unbekannt und wird bisher kaum als studentisch geprägt wahrgenommen. Entwicklungsbedarf äußern die Studierenden vor allem bei gastronomisch-kulturellen Angeboten wie etwa preiswerten Cafés, einer alternativen Studierendenkneipe oder Verweilgelegenheiten, um soziale Kontakte zu pflegen und die Stadtteilbewohner*innen kennenzulernen. Neben einer stärkeren Quartiersgemeinschaft besteht Interesse an mehr gemeinschaftlichen Unternehmungsmöglichkeiten, wobei der Großteil des existierenden Angebots gegenwärtig nur wenigen Studierenden bekannt ist. Es empfiehlt sich, vorhandene Veranstaltungen stärker medial zu bewerben und zu ergründen, weshalb die Neustädter Aktivitäten nicht genutzt werden. Selbstständig organisierte Nachbarschaftsaktivitäten und gelegentlich stattfindende studentische Live-Musik, Karaoke-Abende, Lesungen, Poetry-Slams oder Improvisationstheater bieten einen vielfältigen Mix aus Unterhaltung und Mitmachen im Sinne der Zielgruppe.

Die Gruppe der Pendler*innen ist derzeit am wenigsten zu einem Wohnortswechsel bereit. Sie werden vornehmlich durch soziale Kontakte und partnerschaftliche oder familiäre Bindungen am Heimatort gehalten. Positive Empfehlungen aus dem studentischen Umfeld können jedoch in Verbindung mit identitätsstiftenden Maßnahmen im Quartier dabei helfen, dass vorgefertigte Urteile überdacht und bestenfalls ins Positive korrigiert werden.

Literatur

ADEN, M. (1994): Hildesheim lebt. Zerstörung und Wiederaufbau. Eine Chronik. Hildesheim: Gebrüder Gerstenberg.

- ADEN, M. (2001): Hildesheim. Von der Gründung bis heute. Hildesheim: Gebrüder Gerstenberg.
- AMIANI, S.I.L., SCHWAMB, N. & V. HAMMER (2011): Studentische Lebensqualität und Lebensstile. Wohnen, Mobilität, Soziales, Freizeit und Berufschancen. Wiesbaden: VS Research.
- ATTESLANDER, P. (2010¹³): Methoden der empirischen Sozialforschung. Berlin: ESV.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E., MEVENKAMP, N. & J. NIPPER (Hrsg.) (2010⁵): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1. Univariate und bivariate Statistik. Stuttgart: Borntraeger.
- BASTEN, L. & U. GERHARD (2016): Stadt und Urbanität. In: FREYTAG, T., GEBHARDT, H., GERHARD, U. & D. WASTL-WALTER (Hrsg.) (2016): Humangeographie kompakt. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum, 115-139.
- BBSR [Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung] (Hrsg.) (2014): Kleinräumige Wohnungsmarkttrends in Großstädten. – BBSR-Analysen KOMPAKT 09, 1-20. <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/AnalysenKompakt/2014/DL_09_2014.pdf?__blob=publicationFile&v=2> (Stand: 09.2014) (Zugriff: 24.08.2017).
- BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] (Hrsg.) (2015): Die wirtschaftliche und soziale Lage der Studierenden in Deutschland 2012. 20. Sozialerhebung des Deutschen Studentenwerks durchgeführt durch das HIS-Institut für Hochschulforschung. <https://www.bundestag.de/blob/374880/adb27_9039904103b8df40d7a795497c8/vorlage_20--sozialerhebung-data.pdf> (Stand: 23.04.2015). (Zugriff: 05.05.2017).
- BRAKE, A. (2005): Schriftliche Befragung. In: KÜHL, S., STROTHOLZ, P. & A. TAFFERTS-HOFER (Hrsg.) (2005): Quantitative Methoden der Organisationsforschung. Ein Handbuch. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 33-58.
- BUSSE, S. (2010): Beständig ist nur das Unbeständige – Entwicklungstendenzen der Leipziger Innenstadt. In: PAAL, M. (Hrsg.) (2010): Stadtzukünfte in Deutschland. Strategien zwischen Boom und Krise. Forschungsbeiträge zur Stadt- und Regionalgeographie. Band 4. Berlin: Lit Verlag, 73-107.
- DESTATIS [Statistisches Bundesamt] (2013): Bildung und Kultur. Studierende an Hochschulen. Wintersemester 2012/2013. Fachserie 11. Reihe 4.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/BildungForschungKultur/Hochschulen/StudierendeHochschulenEndg2110410137004.pdf?__blob=publicationFile> (Stand: 26.09.2013) (Zugriff: 05.05.2017).
- DSW [Deutsches Studentenwerk] (Hrsg.) (2015): Wohnraum für Studierende. Statistische Übersicht 2015. Berlin/Bonn: Köllen Druck Verlag. <https://www.studentenwerke.de/sites/default/files/dsw_wohnraumstatistik_2015_0.pdf> (Stand: 09.2015) (Zugriff: 10.05.2017).
- FASSMANN, H. (2004): Stadtgeographie I. Allgemeine Stadtgeographie. Braunschweig: Westermann.
- FREYTAG, T. & S. MÖSSNER (2016): Mensch und Gesellschaft. In: FREYTAG, T., GEBHARDT, H., GERHARD, U. & D. WASTL-WALTER (Hrsg.) (2016): Humangeographie kompakt. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum, 67-88.
- FRICKER, R. D. & M. SCHONLAU (2002): Advantages and Disadvantages of Internet Research Surveys. Evidence from the Literature. – Field Methods 14, 4, 347–367.
- FRIEBERTSHÄUSER, B. (1992): Übergangsphase Studienbeginn. Eine Feldstudie über Riten der Initiation in eine studentische Fachkultur. Weinheim/München: Juventa.
- FRÜH, W. (2015⁸): Inhaltsanalyse. Theorie und Praxis. Konstanz/München: UVK.

- GBG [Gemeinnützige Baugesellschaft zu Hildesheim AG] (o.J.): Studentenwohnheim „Auf der Höhe“. Die ersten eigenen vier Wände in Hildesheim. <<http://www.gbg-hildesheim.de/download/studentenwohnheim.pdf>> (Stand: k.A.) (Zugriff: 05.05. 2017).
- GLATTER, J., HACKENBERG, K. & M. WOLFF (2014): Zimmer frei? Die Wiederentdeckung der Relevanz des studentischen Wohnens für lokale Wohnungsmärkte. – Raumforschung und Raumordnung 72, 385–399.
- HANSEATIC STUDENTENWOHNEN GmbH (2017): Hanseatic Studentenwohnen GmbH (2017): APARTME Students Apartments Hildesheim. Informationsbroschüre. <<http://www.apartme.de/hi/index.html>> (Stand: 2017) (Zugriff: 05.05.2017).
- HAWK [Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst] (2015): Der Neustädter Wochenmarkt. Umfrageergebnisse von Studierenden der HAWK Hildesheim. Hildesheim: Eigenverlag.
- HAWK [Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst] (2017): Bewerbung/ Zulassung. <<https://www.hawk-hhg.de/hochschule/124084.php>> (Stand: 2017).
- HEIN, G & H. KEMMERER (Hrsg.) (1988): Neustädter Geschichten. Auf Spurensuche in einem Hildesheimer Stadtteil. Hildesheim: August Lax.
- HEINEBERG, H. (2014⁴): Stadtgeographie. Paderborn: Schöningh.
- HEINEBERG, H. (2017⁵): Stadtgeographie. Paderborn: Schöningh.
- HEINZMANN, G. (2006): Gemeinschaft und Identität spätmittelalterlicher Kleinstädte Westfalens. Eine mentalitätsgeschichtliche Untersuchung der Städte Dorsten, Haltern, Hamm, Lünen, Recklinghausen und Werne. Norderstadt. o.V.
- HEINZELMANN, M. (2007): Hat jemand 'n Zimmer frei? Eine Dokumentation zur studentischen Kultur der Zimmervermittlung. Göttinger Kulturwissenschaftliche Schriften. Band 17. Frankfurt am Main/ London: IKO-Verlag für Interkulturelle Kommunikation.
- HELBRECHT, I. & J. POHL (1995): Pluralisierung der Lebensstile. Neue Herausforderungen für die sozialgeographische Stadtforschung. In: GZ 83, 222–237.
- HENNIGES, E. [Universität Hildesheim] (2017a): Immatrikulierte an der Universität Hildesheim im Sommersemester 2017. Schriftliche Mitteilung Immatrikulationsamt. (Stand: 21.05. 2017).
- HENNIGES, E. [Universität Hildesheim] (2017b): Immatrikulierte an der Universität Hildesheim mit Wohnsitz im Untersuchungsgebiet Hildesheimer Neustadt für das Sommersemester 2017. Tabellarische Auflistung. Schriftliche Mitteilung Immatrikulationsamt. (Stand: 20.05.2017).
- HOFMEISTER, B. (1994⁶): Stadtgeographie. Braunschweig: Westermann.
- HOTZAU, J. (1997²): dtv-Atlas Stadt. Von der ersten Gründung bis zur modernen Stadtplanung. München: dtv.
- HRADIL, S. (2005⁸): Soziale Ungleichheit in Deutschland. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- INITIATIVE NEUSTADT (2014): Handel im Wandel. Zur Situation leer stehender Ladengeschäfte in der Hildesheimer Neustadt. <http://www.hildesheim.de/pics/medien/1_1405672323/2014_07_17_Analyse_Neustadtinitiative.pdf> (Stand: 05.2014) (Zugriff: 20.08.2017).
- INITIATIVE NEUSTADT (o.J.a): Aktuelles und Rückblicke. <<http://www.initiative-neustadt-hildesheim.de/Aktuelles-Rueckblicke>> (Stand: k.A.) (Zugriff: 20.08.2017).
- INITIATIVE NEUSTADT (o.J.b): Rückblicke 2. <<http://www.initiative-neustadt-hildesheim.de/Rueckblicke-2>> (Stand: k.A.) (Zugriff: 20.08.2017).

- INWIS [Institut für Wohnungswesen, Immobilienwirtschaft, Stadt- und Regionalentwicklung Forschung & Beratung GmbH] (2015): Wohnraumversorgungskonzept für die Stadt Hildesheim. <http://www.hildesheim.de/pics/medien/1_1461043083/Wohnraumversorgungskonzept_Hildesheim_2015.pdf> (Stand: 10.2015) (Zugriff: 13.05.2017).
- INWIS [Institut für Wohnungswesen, Immobilienwirtschaft, Stadt- und Regionalentwicklung Forschung & Beratung GmbH] (2016): Befragung zum Thema Zukunftsstadt. Präsentation der wichtigsten Ergebnisse. Hildesheim. <https://www.hildesheim.de/pics/medien/1_1461239428/Praesentation_Zukunftsstadt_20160419_Handout.pdf> (Stand: 19.04.2016) (Zugriff: 13.05.2017).
- KAST, F. (2016⁴): Zum Problemfeld „Datensatz“ in nicht zufällig gezogenen Stichproben. In: SCHWETZ, H., BEER, R., BENISCHEK, I. & A. FORSTNER-EBERHARD (Hrsg.): Einführung in das quantitativ orientierte Forschen und erste Analysen mit SPSS. Wien: Facultas, 49-58.
- KHG-WOHNHEIM HILDESHEIM (o.J.): Zimmer-Infos. <http://www.khg-wohnheim-hi.de/zim_info.html> (Stand: k.A.) (Zugriff: 05.05.2017).
- KLECHA/RENTEI IMMOBILIEN MANAGEMENT UND HAUSVERWALTUNG GMBH (o.J.): bunsenFactory. Die Wohnungen. <<http://www.bunsenfactory.de/>> (Stand: k.A.) (Zugriff: 05.05.2017).
- KLEE, A. (2001): Der Raumbezug von Lebensstilen in der Stadt. Ein Diskurs über eine schwierige Beziehung mit empirischen Befunden aus der Stadt Nienburg. Münchener Hefte 38. Passau: LIS Verlag.
- LOMP, H. [Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst] (2017): Immatrikulierte an der HAWK Standort Hildesheim im Sommersemester 2017. Mündliche Mitteilung Immatrikulationsamt. (Stand: 09.06.2017).
- LSN [Landesamt für Statistik Niedersachsen] (2017): Studierende, Studienanfängerin-nen und -anfänger im Wintersemester 2016/17 nach Hochschularten, Hochschulstandorten und Fächergruppen – Vorbericht. Vorläufiges Ergebnis. Korrigierte Fassung vom 01.03.2017. <<http://www.statistik.niedersachsen.de/startseite/themenbereiche/bildung/hochschulen/themenbereich-bildung---hochschulen-134355.html>> (Stand: 01.03.2017) (Zugriff:05.05.2017).
- MARKMANN, M. (2017): Universal Design in der Hochschullehre – ein Konzept zur Förderung von Inklusion und Teilhabe im Studium. Fachvortrag. In: UNIVERSITÄT HILDESHEIM (2017): Programm Fachtag "Hochschule inklusiv". <<https://www.uni-hildesheim.de/zink/organisation-kontakt/arbeitsgruppe-barrierefreiheit/fachtag-hochschule-inklusiv/programm/>> (Stand: 15.09.2015) (Zugriff: 09.10.2017).
- MAYER, H. O. (2013⁶): Interview und schriftliche Befragung. Grundlagen und Methoden empirischer Sozialforschung. München: Oldenbourg.
- MAYRING, P. (2003): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Weinheim: Beltz.
- MEIER KRUKER, V. & J. RAUH (2005): Arbeitsmethoden der Humangeographie. Darmstadt: WBG.
- MOSSIG, I. (2008): Leben und Studieren in Heidelberg: Finanzielle Situation, Wohnsituation und Einstellung der Studierenden zu den Studiengebühren. Studien zur Wirtschaftsgeographie 2008, 02. Gießen. <<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2008/5917/pdf/MossigHeidelberg-2008.pdf>> (Stand: 05.2008) (Zugriff: 01.09.2017).
- MOSSIG, I. & T. TKACZICK (Hrsg.) (2010): Wohnsituation der Studentinnen und Studenten in Bremen. – Beiträge zur Wirtschaftsgeographie und Regionalentwicklung, Nr. 1, 1-37. <<http://elib.suub.uni-bremen.de/edocs/00102043-1.pdf>> (Stand: 09.2010) (Zugriff: 28.04.2017).
- MOSSIG, I., ANDREAS, V., KIRSCHNER, K., SCHRADER, J.-H. & J. WIENSTROER (2015): Studentisches Wohnen in Bremen. Zur Wohnsituation der Studentinnen und Studenten an der Universität Bremen 2014/15

- im Vergleich zu 2009/10. – Beiträge zur Wirtschaftsgeographie und Regionalentwicklung, Nr. 1, 1-15. <<http://www.regionalentwicklung.uni-bremen.de/docs/Beitraege%20zur%20Wirtschaftsgeographie%20-BAND%201-2015.pdf>> (Zugriff: 30.05.2017) (Stand: 06.2015).
- MUELLER-HAAGEN, I., SIMONSEN, J. & L. TÖBBEN (2014): Die DNA der Stadt. Ein Atlas urbaner Strukturen in Deutschland. Mainz: Hermann Schmidt.
- PAAL, M. (2010): Deutsche Städte auf der Suche nach konkurrenzfähigen Entwicklungsstrategien. In: PAAL, M. (Hrsg.) (2010): Stadtzukünfte in Deutschland. Strategien zwischen Boom und Krise. Forschungsbeiträge zur Stadt- und Regionalgeographie. Band 4. Berlin: Lit Verlag, 9-18.
- PASCHKE, K. [Norddeutsche Hochschule für Rechtspflege] (2017a): Studierendenzahlen an der Norddeutschen Hochschule für Rechtspflege im Sommersemester 2017. Schriftliche Mitteilung Sekretariat. (Stand: 24.05.2017).
- PEIGHAMBARI, A. & I. MOSSIG (2005): Ausgewählte Aspekte zur sozialen Lage der Studierenden an der Justus-Liebig-Universität Gießen 2005. Finanzielle Situation, Wohnen, Verkehrsmittelnutzung. Studien zur Wirtschaftsgeographie. Gießen. <<http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2006/2663/pdf/AspektersozialenLage.pdf>> (Stand: 10.2005) (Zugriff: 01.09.2017).
- PRAUSER, W. [Bundesverband für Wohnen und Stadtentwicklung e.V.] (Hrsg.) (2008): Stadtentwicklung. Sind unsere segregierten Stadtteile noch zu retten? – Forum Wohnen und Stadtentwicklung 3 (Juni-Juli 2008), 149–151. <http://www.vhw.de/fileadmin/user_upload/08_publicationen/verbandszeitschrift/2000_2014/PDF_Dokumente/2008/FW_3_2008_Sind_unsere_segregierten_Stadtteile_noch_zu_re.pdf> (Stand: 07.2008) (Zugriff: 10.05.2017).
- RADIO TONKUHLE (2014): Radio-Interview vom 17.07.2014 von Radio Tonkuhle mit Henner Lenfers. <<http://www.initiative-neustadt-hildesheim.de/Rueckblicke-2>> (Stand: 17.07.2014) (Zugriff: 22.08.2017).
- RADIO TONKUHLE (2015): Workshop am 15.01.2015 in der HAWK ... liefert Ideen zur Zukunft der Neustadt. <<http://www.initiative-neustadt-hildesheim.de/Rueckblicke-2>> (Stand: 15.01.2015) (Zugriff: 22.08.2017).
- REINHARDT, T. (2015): Kleiner Leitfaden zum Abfassen wissenschaftlicher Arbeiten. <http://www.ethnologie.uni-muenchen.de/studium/lehre/leitfaden/leitfaden_haus_arbeiten.pdf> (Stand: 13.07.2015) (Zugriff: 06.09.2017).
- REITEMEIER, A. (Hrsg.) (2016): Quellen zur Stadtgeschichte Hildesheims von 815 – 1583. 3. Veröffentlichung des Hildesheimer Heimat- und Geschichtsvereins e.V. Band 3. Hildesheim: Gerstenberg.
- REUBER, P. & C. PFAFFENBACH (2005): Methoden der empirischen Humangeographie. Beobachtung und Befragung. Braunschweig: Westermann.
- SCHONLAU, M. (2002): Conducting research surveys via e-mail and the web. Santa Monica, Calif.: Rand.
- SCHRAMM, W. (1972²): Studentisches Wohnen in der Hochschulstadt. Anzahl und räumliche Verteilung der Wohnungen von Studierenden. Ein Beitrag zur Wohnungs- und Verkehrsplanung in Hochschulstädten. Schriftreihe der Arbeitsgruppe Stadtforschung. Technische Universität Hannover. Band 6. Hannover: Gebrüder Jänecke Verlag.
- SCHRÖDER, F. (2010): Studieren in der Platte? Studentisches Wohnen in der Potsdamer Wohnsiedlung „Am Schlaatz“. In: ROLFES, M., RÖPCKE, J. & K. ROZANSKI (Hrsg.) (2010): Regionale Bedeutung von Hochschulen und Forschungseinrichtungen – Das Beispiel Potsdam. Regional significance of universities and research institutions – The case study Potsdam. Praxis Kultur- und Sozialgeographie PKS 48. Potsdam: Universitätsverlag, 58 – 61.

- SEEGER, A. & N. KAMINSKI (2010): Studieren in Potsdam – Wohnen in Berlin! In: ROLFES, M., RÖPCKE, J. & K. ROZANSKI (Hrsg.) (2010): Regionale Bedeutung von Hochschulen und Forschungseinrichtungen – Das Beispiel Potsdam. Regional significance of universities and research institutions – The case study Potsdam. Praxis Kultur- und Sozialgeographie PKS 48. Potsdam: Universitätsverlag, 44-45.
- STADT BOCHUM (2007): Städtebauliches Entwicklungskonzept für die Innere Hustadt im Stadtteil Querenburg im Rahmen des Städtebauförderungsprogramms „Stadtumbau West“. <<https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4001752/4145082.pdf>> (Stand: 05.2007) (Zugriff: 24.08.2017).
- STADT HILDESHEIM (2016): Neustadt – kleiner Stadtteil - viel Initiative! Bisher größte Resonanz bei den Stadt*Werk*Gesprächen*. <<http://www.hildesheim.de/magazin/artikel.php?artikel=18690&type=2&menuid=2455&topmenu=3>> (Stand: 19.02.2016) (Zugriff: 13.05.2017).
- STADT HILDESHEIM – SUW [STATISTIK UND WAHLEN] (2016): Steckbrief Neustadt. Schriftliche Mitteilung. (Stand: 31.12.2016) (Zugriff: 10.05.2017).
- STADT HILDESHEIM – VUG [VERMESSUNG UND GEODATEN] (Hrsg.) (2014¹⁰): Stadtkarte Hildesheim 1:12500 / Landkreis Hildesheim 1:50000. Allgemeine Informationen. Maßstab 1:12500 / 1:50000. Hildesheim. (Stand: Juli 2014).
- STUDENTENWOHNHEIM HILDESHEIM ALPHA ENERGIE SYSTEME GMBH (o.J.): Zimmer und Preise. <<http://www.wohnheim-hildesheim.de/de/zimmer-und-preise>> (Stand: k.A.) (Zugriff: 05.05.2017).
- STUDENTENWOHNHEIM HILDESHEIM ANNENSTRASSE (2016a): Dein Studentenzimmer. <<http://www.studentenwohnheim-hildesheim.de/index.php/zimmer-studentenwohnheim>> (Stand: 2016) (Zugriff: 09.05.2017).
- STUDENTENWOHNHEIM HILDESHEIM ANNENSTRASSE (2016b): Preise im Studentenwohnheim. <<http://www.studentenwohnheim-hildesheim.de/index.php/preise-studentenwohnheim>> (Stand:01.09.2016) (Zugriff: 09.05.2017).
- STW-ON [Studentenwerk OstNiedersachsen] (Hrsg.) (2009): Die Wohnanlagen des Studentenwerks OstNiedersachsen am Standort Hildesheim. Willkommen zu Hause. Informationsbroschüre.
- STW-ON [Studentenwerk OstNiedersachsen] (Hrsg.) (2017): Wohnen. Willkommen zu Hause. Informationsbroschüre.
- SVHI [Stadtverkehr Hildesheim GmbH] (2017): Das neue Liniennetz in Hildesheim. Eine Information der Stadt Hildesheim und des SVHI. Informationsbroschüre. Hildesheim.
- UNIVERSITÄT HILDESHEIM (2017a): Anmeldung an der Universität Hildesheim. Die Anmeldung und Voraussetzungen. <<https://www.uni-hildesheim.de/io/incomings/infos-fuer-internationale-austauschstudierende/vor-ankunft/anmeldung/>> (Stand: 15.09.2017).
- UNIVERSITÄT HILDESHEIM (2017b): Deutschkenntnisse. <<https://www.uni-hildesheim.de/io/incomings/infos-fuer-internationale-vollzeitstudierende/infos-fuer-studienbewerber/zulassungsvoraussetzungen/deutschkenntnisse/>> (Stand: 15.09.2017).
- UNIVERSITÄT HILDESHEIM (2017c): Wohnen in Hildesheim. <<https://www.uni-hildesheim.de/studium/rund-ums-studium/studieren-leben-in-hildesheim/wohnen-in-hildesheim/>> (Stand: 03.05.2017) (Zugriff: 04.05.2017).
- VOSGERAU, K. (2005): Studentische Sozialisation in Hochschule und Stadt. Theorie und Wandel des Feldes. Mit einer Fachstudie zur fachspezifischen Erfahrung der Großstadt. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- WANK, J., WILLIGE, J. & C. HEINE (2009): Wohnen im Studium. Ergebnisse einer Online-Befragung im März und April 2009 im Auftrag des Deutschen Studentenwerks. HIS: Projektbericht.

- <https://www.studentenwerke.de/sites/default/files/42_Wohnen_im_Studium.pdf> (Stand: 11.2009) (Zugriff: 06.05.2017).
- WEBER, S. & A. BRAKE (2005): Internetbasierte Befragung. In: KÜHL, S.; STRODTOLZ, P. & A. TAFFERTSHOFER (Hrsg.) (2005): Quantitative Methoden der Organisationsforschung. Ein Handbuch. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 59-84.
- WEHRHAHN, R. (2016): Bevölkerung und Migration. In: FREYTAG, T., GEBHARDT, H., GERHARD, U. & D. WASTL-WALTER (Hrsg.) (2016): Humangeographie kompakt. Berlin/Heidelberg: Springer Spektrum, 39-66.
- WIESE, B. (2008): Museums-Ensembles und Städtebau in Deutschland – 1815 bis in die Gegenwart. Akteure – Standorte – Stadtgestalt. Sankt Augustin (Asgard). Bonner Geographische Abhandlungen, 120.
- WILLIGE, J. & S. ISLEIB (2013): Wohnraumsuche und Wohnen zu Studienbeginn. Projektbericht Oktober 2013. Hannover: Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung. <https://www.studentenwerke.de/sites/default/files/40_HISBUS-Wohnraumsuche-Studienbeginn-2013.pdf> (Stand: 10.2013) (Zugriff: 16.05.2017).
- ZIERER, K., SPECK, K. & B. MOSCHNER (2013): Methoden erziehungswissenschaftlicher Forschung. München: Reinhardt.

Anschrift der Autorinnen:

Eika Ehme B.Sc.

eika.ehme@gmx.de

Dr. Sabine Panzer-Krause

sabine.panzer-krause@uni-hildesheim.de

Universität Hildesheim

Institut für Geographie

Universitätsplatz 1

D-31141 Hildesheim

Niedersächsische Lehrpfade – wie können traditionelle Bildungsinstrumente eine Bildung für nachhaltige Entwicklung ermöglichen?

Michelle Kieselstein

Zusammenfassung

Zurzeit stellen Lehrpfade trendige informelle Bildungsinstrumente dar, die trotz ihres Potenzials für die Implementation der Bildung für nachhaltige Entwicklung im informellen Bildungsbereich meist allein in ihrer Konzeption im Wissenschaftsdiskurs thematisiert werden. Diesem Forschungsdefizit geht die Studie am Beispiel von Niedersachsen nach, wofür diese auf die erstmalige niedersächsische Bestandsaufnahme und Systematisierung von Lehrpfaden abzielt, um daran anschließend das Maß an Potenzialen von spezifischen Lehrpfaden für die Bildung für nachhaltige Entwicklung herauszustellen sowie einen Lehrpfad als Beispiel guter Praxis zu identifizieren. Zielführend hierfür ist das sequentielle Mixed-Methods-Design, das die Querschnittstudie zum Lehrpfadbestand mit der qualitativ-kriterialen Potenzialanalyse in Bezug auf die Bildung für nachhaltige Entwicklung verzahnt. Die Querschnittstudie stellt die 426 erfassten Lehrpfade als bundeslandweites informelles Bildungsinstrument heraus. Die Lehrpfade ballen sich einerseits inner- und außerhalb von Großschutzgebieten und kommen andererseits vereinzelt im städtischen Zentrum oder in Stadtnähe vor. Dabei zeichnet sich die Prävalenz der klassischen Lehrpfade ab, die sich bis auf wenige Ausnahmen auf der Landkreisebene fortsetzt. Demzufolge dominiert die deskriptive Vermittlungsform bei den Lehrpfaden. Zudem existieren hauptsächlich botanisch-zoologische und naturbezogene Pfadthemen sowie Wald- und Forstthemen. Das Maß an Potenzialen für die Bildung für nachhaltige Entwicklung misst den untersuchten Lehrpfaden die Rolle eines nützlichen Bildungsinstrumentes für die Bildung für nachhaltige Entwicklung zu. Der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz ist dafür ein Beispiel guter Praxis und differenziert sich zu den anderen Lehrpfaden im Wesentlichen durch seine herausragende pädagogische Aufbereitung. Einige Lehrpfade zeigen bei den regionalen Produkten und dem Pfadinformationsgehalt kaum Potenziale. Überdies besteht bei allen untersuchten Lehrpfaden Nachholbedarf in der sprachlichen Komplexität der Informationsaufbereitung und der Bereitstellung von Weginformationen. Schließlich entwickelt sich mit dem Transfer des für die Analyse angewandten Kriterienkatalogs auf weitere Lehrpfade ein qualitativvolles Evaluationsinstrument für die Lehrpfadqualität in Bezug auf die Bildung für nachhaltige Entwicklung. Dieser Kriterienkatalog und die Studienerkenntnisse schaffen Orientierungspunkte für die Generalüberholung der niedersächsischen Lehrpfadkultur und tragen somit zur Implementation der Bildung für nachhaltige Entwicklung in den informellen Bildungsbereich bei.

Schlüsselwörter: Lehrpfade, traditionelles Bildungsinstrument, Bildung für nachhaltige Entwicklung, Niedersachsen

Summary

At present, education trails pose trendy informal educational tools, which despite their potential for the implementation of Education for Sustainable Development in informal education sector are mostly only thematised in their conception in the science discourse. The study pursue this research deficit by the example of Lower Saxony, for which it aims at the first Lower Saxony inventory and systematization of education trails, then to highlight the degree of potential for Education for Sustainable Development of specific education trails and to identify one education trail as an example of good practice. Aiming

at this is the sequential mixed methods design, which interlock the cross-sectional study on the education trail inventory with the qualitative-criteria potential analysis in relation to Education for Sustainable Development. The cross-sectional study highlights the 426 collected education trails as a nationwide informal educational tool. The education trails agglomerate on the one hand inside and outside of large-scale protected areas and on the other hand isolated in the city centre or near the city. In this context, the prevalence of the classical education trails is apparent, which continues with a few exceptions at the country level. Therefore, the descriptive form at the education trails dominates. In addition, there are mainly botanical-zoological and nature-related trail topics as well as forest and forest topics. The degree of potential for Education for Sustainable Development attributed the studied education trails the role of a useful educational tool for Education for Sustainable Development. The Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz as an example of good practice for this and differentiates itself from the other education trails essentially, by its excellent pedagogical processing. Some education trails show little potential for regional products and trail information content. Moreover, there is a backlog in the linguistic complexity of information processing and the provision of route information for all studied education trails. Lastly, with the transfer of the catalogue of criteria used for the analysis to further education trails, a quality evaluation tool for the quality of education trails in relation to Education for Sustainable Development is developing. This catalogue of criteria and the study knowledge create Landmarks for the general overhaul of Lower Saxony's education trail culture, thus contributing to the implementation of Education for Sustainable Development in the informal education sector.

Keywords: Education Trails, Traditional Education Instrument, Education for Sustainable Development, Lower Saxony

1. Motivation und Hintergrund

In jüngster Zeit erfreuen sich die klassischen Freizeitbildungsorte, unter anderem Museen, botanische Gärten, Zoos und Großschutzgebiete, in Deutschland einer zunehmenden gesellschaftlichen Beliebtheit (KIESELSTEIN 2018:1, WOHLERS 2015:700). Grund hierfür sind Individualisierungs-, Flexibilisierungs- und Globalisierungsprozesse in der Arbeits- und Lebenswelt, die zur semantischen Verschiebung des biografischen Lernens führen und mit dem lebenslangen Lernen (vgl. ZENCHANKA & ZENCHANKA 2018: 21f.) eine neue Lernkultur auf den Plan rufen. Diese erweitert das formale Lernen um das informelle Lernen (vgl. HARRING ET AL. 2018:18), womit Letzterem ein zunehmender Stellenwert zugeschrieben wird (FREERICKS 2015:671f.). Gerade in puncto Selbstbestimmtheit, Eigentätigkeit und Ungebundenheit bietet das informelle Lernen Anknüpfungspunkte für das nachhaltige Lernen im Rahmen der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) (WOHLERS 2008:13). Ein Blick in die Literatur zeigt dennoch die sekundäre Bedeutung des informellen Lernens und der informellen Bildungsinstrumente im BNE-Diskurs (BUDEBERG 2016:272f.). Dies verwundert in Anbetracht des Postulats der BNE-Implementation in alle Bildungsbereiche (MAACK 2018:40f.).

Ein Paradebeispiel für dieses Forschungsdefizit stellt der Lehrpfad (vgl. Kapitel 2) dar (EDER & ARNBERGER 2007a:68). Weder die BNE-Lehrpfadqualität noch die Lehrpfadquantität sind Forschungsgegenstand des aktuellen deutschen Wissenschaftsdiskurses. Bisherige Arbeiten beschränken sich häufig auf Vorschläge zur Pfadkonzeption (EBERS 1998c, EDER & ARNBERGER 2007a, GOTZMANN & HOFF 2010, LANG & STARK 2000, MEGERLE 2006, NUTZ 2003, SIEKIERSKI 2003, WOHLERS 2003), obwohl EDER & ARNBERGER (2014: 75) bereits vor mehr als vier Jahren die Lehrpfade mit ihrem Landschaftsbezug, ihrer Einzigartigkeit, ihrem pädagogisch-didaktischen Konzept sowie ihrer inhaltlich-thematischen Aufbereitung als geeignete Bildungsinstrumente für die BNE erkannten. Auch ZIMMERLI (1975:14) betonte bereits mehr als 35 Jahre zuvor das Lehrpfadpotenzial zur Förderung der in der Schule oftmals vernachlässigten Handlungskompetenz, die heutzutage nach DE HAAN als Gestaltungskompetenz (vgl. DE HAAN 2008:25–31,

LANGENHORST 2016:47, MAACK 2018:46) postuliert wird. Lediglich das Bundesland Baden-Württemberg integriert seit einiger Zeit die Lehrpfade, motiviert durch die BNE-Arbeit der angrenzenden Nachbarländer Schweiz und Österreich, als Bildungsinstrumente in die informelle BNE-Arbeit und nimmt damit deutschlandweit eine Vorreiterposition ein (LUBW 2008:6 & 9, PRÖBSTL-HAIDER 2014:18, ZIMMERLI 1975:128). Im nördlichen Teil von Deutschland zeigt sich dahingehend ein gegensätzliches Bild. Gerade das Bundesland Niedersachsen bietet aufgrund seiner diversen Großschutzgebiete (vgl. TOBIAS 2018:27–36), die Lehrpfade als für die Umwelt bedeutende Freizeitbildungsangebote einsetzen, beste Voraussetzungen zur Implementation der Lehrpfade in den informellen BNE-Bereich (REGION HANNOVER 2018:11). Trotz alledem überwiegt bisher der Disput über die Lehrpfadkultur. Auf der einen Seite gelten die Lehrpfade als in der Freizeit begehrte Outdoor-Bildungsangebote der deutschen Bevölkerung (KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:80). Dieser Trend lässt sich mit dem gesellschaftlichen Bedürfnis nach idyllischen, erholsamen sowie authentischen Natur- und Bildungserlebnissen in Kulturlandschaften, wie Großschutzgebieten, als Gegenpol zum hektischen Alltag erklären (EDER & ARNBERGER 2007a, EDER & ARNBERGER 2014, SCHRÖDER 2006). Auf der anderen Seite steht jedoch das negative Image der teils in den Bereichen Wegleitsysteme, Wartung, Gestaltung der Eingangstafeln, Zielgruppenorientierung und Umgebungsbezug unprofessionell gestalteten klassischen Lehrpfade (EDER & ARNBERGER 2007a:30ff., EDER & ARNBERGER 2014:73).

Aus diesem kontroversen Diskurs heraus zielt die Studie primär auf die erstmalige Bestandsaufnahme von niedersächsischen Lehrpfaden gepaart mit der Systematisierung des undurchsichtigen Dickichts der niedersächsischen Lehrpfadkultur ab. Hierfür macht die Studie zunächst mittels der Erfassung und der Lokalisation der Lehrpfade Lehrpfadballungsräume ausfindig und führt daraus resultierende geographische Handlungsräume bezüglich weiterer Lehrpfaderrichtungen an. Außerdem erfolgt die Systematisierung des quantitativen Lehrpfadbestands mittels der Pfadtypen, der Wissensvermittlungsformen und der Pfadthematiken.

Die Studie hat als weiteres Ziel, das Maß der BNE-Potenziale von ausgewählten Pfaden darzustellen und den besten BNE-Pfad als ein Beispiel guter Praxis zu identifizieren. Hierzu verfolgt die Studie zunächst die kriteriengeleitete Evaluation ausgewählter Lehrpfade in Bezug auf die BNE, aus der sich dann die BNE-Potenziale ableiten.

2. Lehrpfade – Typologie und Bedeutung für die Bildung für nachhaltige Entwicklung

Der diffuse Gebrauch des Lehrpfadbegriffs fordert für ein gemeinsames Lehrpfadverständnis eine für die Studie gültige Definition, die das gegenwärtige Lehrpfadspektrum abdeckt. Aus diesem definitonischen Anspruch heraus stellt die Autorin in Anlehnung an bisherige Autorendefinitionen die nachstehende Lehrpfaddefinition auf:

„Der Lehrpfad ist ein in der Umwelt frei zugänglicher bis zu zehn Kilometer langer und mit Stationen/Orientierungspunkten inszenierter Spazierweg, der mit deskriptiven, interaktiven, sensorischen und/oder handlungsorientierten Vermittlungsformen sowie mit einer Gestaltung von deskriptiven bis hin zu sensorischen/animierenden, interaktiven und technischen Medien auf Lehr-/Lernprozesse der PfadbesucherInnen zu einer spezifischen Thematik abzielt.“

(in Anlehnung an: EDER & ARNBERGER 2007a:76f., HEIMERL 2002:25f., JUNGMEIER & ZOLLNER 2002:20, KREMB 2003:148, LANG & STARK 2000:16, 98 & 111, MEGERLE 2003:352, NUTZ 2003:47).

Die Umwelt wird in dieser Definition gemäß der umweltzentrischen Definition (vgl. LESER 2005:995) verstanden. Zudem schließt der übergeordnete Begriff Lehrpfad im Rahmen dieser Studie verschiedene Lehrpfadtypen ein. Die Themenwege (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:55) sowie die Wunderpunkte

(vgl. MEGERLE 2003:9) fallen nicht unter den Lehrpfadbegriff, da ihre Errichtung primär für die Entwicklung der Regionalwirtschaft erfolgt und sie folglich keine konkreten Bildungsintentionen verfolgen (EDER & ARNBERGER 2007a:55, HEY 1984:85f.).

Für die Systematisierung der Lehrpfade existieren zahlreiche Vorschläge in der Literatur (EBERS 1998a, EDER & ARNBERGER 2007b, LANG & STARK 2000, MEGERLE 2003, NUTZ 2003, WELDT 1965, ZIMMERLI 1975). Allen Vorschlägen gemein sind die Differenzierungskriterien des behandelten Inhalts, der angewandten Vermittlungsform, der medialen Gestaltungsform sowie der Pfadintention. Den ersten Systematisierungsversuch mithilfe des Pfadinhalts unternahm WELDT im Jahr 1965 (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:32). ZIMMERLI (1975:128) differenzierte diesen nach über einem Jahrzehnt unter dem Umstand des weitaus größeren Lehrpfadspektrums inhaltlich weiter aus (vgl. ebd.). Zudem existieren neuere thematische Systematisierungsvorschläge von LANG & STARK 2000 sowie von EDER & ARNBERGER 2007 (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:33), wobei der letztere Systematisierungsansatz neben dem Inhalt auf den Raum Bezug nimmt (ebd.). Allerdings eignen sich die jüngeren Ansätze für das methodische Vorgehen der Studie und die älteren Ansätze aufgrund ihres eng gefassten Themenspektrums für die gegenwärtige Themenvielfalt der Lehrpfade nicht (vgl. Kapitel 3 & 4.4).

Weiter kann eine Differenzierung der Lehrpfade nach der deskriptiven (rezeptives Inhaltserleben), interaktiven (aktives Inhaltserleben) oder sensorischen Vermittlungsform (ganzheitliches emotionales Inhaltserleben) erfolgen (LANG & STARK 2000:18). Hinzu kommt die handlungsorientierte Form, die eine Mischung der Vermittlungsformen abbildet und eine hohe Eigenaktivität und Selbstklärung der PfadbesucherInnen beabsichtigt (NUTZ 2003:47). EDER & ARNBERGER (2007a:43) ergänzen dazu die technische Wissensvermittlungsform, die in dieser Studie ungeachtet bleibt. Der Grund hierfür ist, dass sich bei dieser Vermittlungsform zwar das Vermittlungsmedium von Stationstafeln oder Broschüren zu GPS-Geräten, Mobiltelefonen oder Palmer (Taschencomputer) verschiebt, jedoch bei den gegenwärtigen niedersächsischen Lehrpfaden das Inhaltserleben meist auf der rezeptiven Ebene verbleibt.

Das mediale Systematisierungskriterium differenziert sich in deskriptive (vgl. LANG & STARK 2000:18), interaktive (vgl. GOTZMANN & HOFF 2010:46f.) und sensorische/animierende Medien (vgl. MEGERLE 2006:107). Diese Formen sind angesichts der didaktischen Lehrpfadentwicklung um die technischen Medien, wie GPS-Geräte, Mobiltelefone und Palmer, zu ergänzen (EDER & ARNBERGER 2007a:43f.).

Als letztes Systematisierungskriterium kann die Intention/das Motiv der Pfaderrichtung dienen, welche/s die vorherigen Kriterien maßgeblich beeinflusst. Unter die primären Intentionen fallen ökologische Motive, wie die Besucherlenkung durch sensible geographische Räume, und das geistige-soziale Motiv, wozu die Umweltbildung, die individuelle Verhaltensänderung, der Naturschutz und die BNE zählen. Ökonomische Motive, wie die Regionalentwicklung in Kombination mit der regionalen Produktvermarktung und dem nachhaltigen Tourismus (vgl. STRASDAS 2017:13f. & 24), sind sekundäre Pfadintentionen (EDER & ARNBERGER 2014:70f., LANG & STARK 2000:25ff., NEEB 2012:33).

Auf Grundlage der historischen Entwicklungen, der Vermittlungsformen, der medialen Ausgestaltungen, der Charaktere, der Besucherrollen und der Intentionen der Lehrpfade lässt sich die nachstehende Lehrpfadtypologie erstellen, die in der Realität Mischformen zulässt und aufgrund der thematischen Vielfalt der Lehrpfade das inhaltliche Systematisierungskriterium nicht aufnimmt (Tab. 1). Interpretationspfade (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:53, EDER & ARNBERGER 2007b:30) und Geopfade (vgl. CAMPBELL & JONES 2013:5) bleiben innerhalb dieser Typisierung unberücksichtigt, da sie nicht einmal im Wissenschaftsdiskurs Baden-Württembergs Anklang finden und dies daher ebenso wenig für Niedersachsen anzunehmen ist (LUBW 2008:5). Überdies verfolgen diese Typen vorrangig das Ziel eines freizeithlichen Besucherentertainments (EDER & ARNBERGER 2007a:53ff.).

Darüber hinaus spiegelt die nachstehend aufbereitete Lehrpfadtypologie mit den neun Lehrpfadtypen den Entwicklungsverlauf der zentralen Umweltbildungskonzepte (vgl. RÖLL 2007:42ff.) wider (Tab. 1).

Tab. 1: Niedersächsische Lehrpfadtypologie (in Anlehnung an: EBERS 1998a:19, EBERS 1998c:40, EDER & ARNBERGER 2007a:46–59, EDER & ARNBERGER 2014:70f., GOTZMANN & HOFF 2010:46, KREJCAREK 2000:25ff., KREMB 2003:148, LANG & STARK 2000:20ff., LUBW 2008:8, MEGERLE 2003:5-9, MEGERLE 2006:107, MEGERLE 2008:129, NUTZ 2003:48ff.).

Typologie	Vermittlungsform	Medien (Beispiele)	Charakter	Besucherrolle	Motive
klassischer Lehrpfad	deskriptiv	Informationsschilder/-tafeln oder Informationsbroschüren	belehrend	passiv	Umweltbildung, Verhaltensänderung, Naturschutz & Besucherlenkung
technisierter Lehrpfad	deskriptiv	GPS-Geräte, Mobiltelefone oder Palmer	belehrend	passiv	Umweltbildung, Verhaltensänderung & Naturschutz
interaktiver Lehrpfad	interaktiv	Dreh-, Klapp- & Schiebeelemente (mindestens 75 % des Pfads)	auffordernd	aktiv	Umweltbildung, Verhaltensänderung & Naturschutz
Sinnespfad (Barfußpfad)	sensorisch	Informationstafeln mit sensorischen Handlungsanleitungen oder Elementen (mindestens 75 % des Pfads)	auffordernd	aktiv	Sinneswahrnehmungen (Flow), Umweltbildung, Verhaltensänderung & Körperbewusstsein in der Umwelt
Erlebnispfad (Naturerlebnispfad)	handlungsorientiert	Informationstafeln/-broschüren, interaktive & sensorische/animierende Medien	auffordernd	aktiv	ganzheitliche Naturwahrnehmungen & -erlebnisse (Flow), Sensibilisierung für Natur, nachhaltige Umweltbildung & Verhaltensänderung
Kunstpfad	interaktiv	Informationstafeln/-broschüren & Kunstobjekte	auffordernd	aktiv	Auseinandersetzung mit Landschaft/Natur & Kunstobjekt
mobiler Pfad	interaktiv (entdeckend)	entdeckungs- & experimentierorientierter Koffer oder Rucksack	auffordernd	aktiv	Perspektivöffnung für Natur & aktive Naturentdeckungen
Entdeckungspfad	interaktiv (entdeckend)	Informationstafeln/-broschüren, interaktive, sensorische/animierende oder technische Medien	auffordernd	aktiv	Perspektivöffnung für Natur, sinnliche Naturerfahrungen, Umweltbildung & Umweltbewusstsein
Lernpfad	handlungsorientiert	Informationstafeln/-broschüren, interaktive & sensorische/animierende Medien	auffordernd	aktiv	Gestaltungskompetenzerwerb, ganzheitliche Naturwahrnehmung/-erfahrung, nachhaltige Umweltbildung, Verhaltensänderung & Naturschutz

Neben den Umweltbildungskonzepten berücksichtigt die Lehrpfadtypologie didaktisch-pädagogische Lehrpfadkonzepte, die sich mit den sich wandelnden Gesellschaftsansprüchen weiterentwickelten (vgl. BIRKENHAUER 1995:75, EBERS 1998b:32f., EDER & ARNBERGER 2007a:26f., HEDWIG 1993:20ff., LANG & STARK 2000:26f., MEGERLE 2003:16ff., STICHMANN 1981:114f.). Die Einsicht des geringen Lernerfolgs der PfadbesucherInnen durch ihre Belehrung durch die klassischen Lehrpfade in den 1990er-Jahren führte vom „learning by reading“ bei den klassischen und teils bei den technisierten Lehrpfaden zum „learning by

doing“ (in Form der interaktiven/handlungsorientierten Wissensvermittlung) bei den interaktiven Lehrpfaden, Kunstpfaden, mobilen Lehrpfaden, Entdeckungspfaden, Erlebnispfaden, Naturerlebnispfaden und Lernpfaden (EDER & ARNBERGER 2007a:26, LEHNES 2006:8f.). Diese Lehrpfadtypen arbeiten vermehrt mit interaktiven sowie sensorischen/animierenden Medien, weshalb diese neben den Sinnespfaden, die die sensorische Vermittlungsform und somit sensorische Gestaltungsmedien fokussieren, einen auffordernden Charakter besitzen. Die technisierten Lehrpfade arbeiten neben den technisierten Medien unter anderem mit deskriptiven Medien und wirken dadurch ebenso belehrend wie die klassischen Lehrpfade. Neben der passiven Besucherrolle bei diesen Lehrpfadtypen initiieren die anderen Pfadtypen mit ihrem auffordernden Charakter eine aktive Besucherrolle (Tab. 1).

Als Hauptmotive zur Pfaderrichtung sind ökologische Aspekte und spezielle Bildungsintentionen, die von der klassischen Umweltbildung und Verhaltensänderung bis hin zu ganzheitlichen Naturwahrnehmungen/-erlebnissen und zum Gestaltungskompetenzerwerb reichen, ausschlaggebend. Die ökonomischen Motive spielen hierbei ausschließlich eine untergeordnete Rolle, weshalb die Lehrpfadtypologie den Tourismus als nachrangiges Motiv zur Lehrpfaderrichtung nicht aufnimmt (Tab. 1).

In puncto BNE sind die Erlebnispfade (vgl. GOTZMANN & HOFF 2010:46, MEGERLE 2003:8) und die Lernpfade (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:49, KIESELSTEIN 2018:15ff.) unter den Lehrpfadtypen bedeutend, da beide Typen mit dem handlungsorientierten Lernen („learning by doing“) und der Integration von differierenden Erfahrungsdimensionen für ein ganzheitliches Lernen (vgl. KILLERMANN 2000:24) zentrale Aspekte des pädagogisch-didaktischen Konzepts der BNE aufnehmen. Insbesondere die Lernpfade führen bei gleicher Grundidee mittels eines abgewandelten Konzepts und einer breiteren Öffentlichkeitsansprache den Agenda-Gedanken der Bildung nachhaltiger Verantwortung weiter aus. Die anderen Pfadtypen spielen im Rahmen der BNE wohl kaum eine Rolle, denn bereits KISSER (2014:7–21) spricht den informellen Bildungsinstrumenten mit einer überwiegend deskriptiven Informationsvermittlung und dem damit korrelierenden rezeptiven Erkenntnisgewinn den nachhaltigen Wissenserwerb ab (KREIMER ET AL. 2011:12ff.). Dementsprechend stehen die klassischen und technisierten Lehrpfade denen vom BNE-Bildungskonzept beabsichtigten situierten/realitätsnahen, partizipativen, (aus-)handelnden und selbstorganisierten Lernprozessen für einen innovativen Wissenserwerb entgegen (LANGENHORST 2016:117, LUCKER & KÖLSCH 2009:39, STANG 2016:28). Die interaktiven Lehrpfade, die zumindest die klassische Umweltbildung in Kombination mit der Verhaltensänderung und dem Naturschutz verfolgen, und die Kunstpfade, die eine Landschaftsauseinandersetzung beabsichtigen, zielen wie die anderen Lehrpfadtypen lediglich auf Teilaspekte des BNE-Konzepts ab. Die Sinnespfade ermöglichen die sinnlichen Phänomenwahrnehmungen, womit sie über mentale Bilder subjektive Erfahrungen hervorrufen (LUDWIG 2014:40). Im Gegensatz dazu eröffnen die mobilen Lehrpfade verschiedene Perspektiven auf natürliche Standortgegebenheiten am Pfad. Als letzter Lehrpfadtyp tragen die Entdeckungspfade einen kleinen Anteil zur BNE bei, indem sie das für die BNE notwendige forschend-entdeckende Lernen (vgl. SCHOLKMANN 2016:5ff.) und das ganzheitliche Lernen für die PfadbesucherInnen ermöglichen (LANG & STARK 2000:26, MEGERLE 2003:7).

3. Studiendesign

Nach der thematischen Einführung steht im Folgenden das Design der Primärstudie im Fokus (Abb. 1), an das die detaillierte Darstellung der Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung anschließt, um eine hohe Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Studie zu gewährleisten. Zielführend ist dabei das sequentielle Mixed-Methods-Design (vgl. CRESWELL & CRESWELL 2018:14f., KELLE 2019:159). Dies führt, wie die folgende Abbildung zeigt, die quantitative Querschnittstudie zum niedersächsischen Lehrpfadbestand mit der temporal nachrangigen qualitativen kriteriengeleitet-deskriptiven Analyse der BNE-Potenziale der Lehrpfade zusammen. Dementsprechend folgt die Studie zur Realisierung der primären Studienziele (vgl. Kapitel 1) dem Bottom-up-Prinzip (Abb. 1).

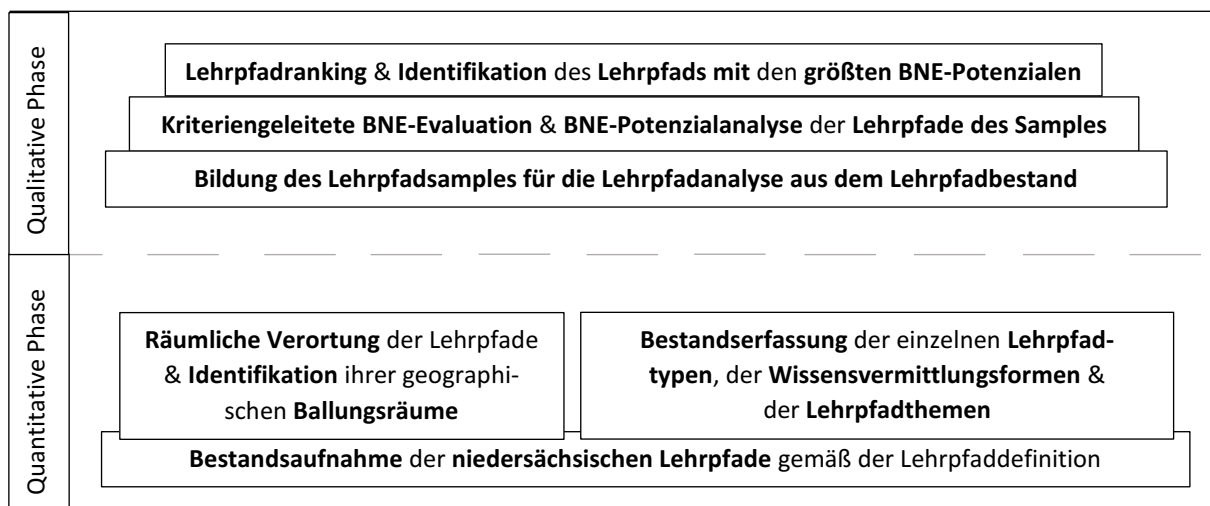


Abb. 1: Studiendesign.

3.1 Literatur- und Internetrecherche zur Bestandsaufnahme der niedersächsischen Lehrpfade

Die bei der Querschnittstudie zum niedersächsischen Lehrpfadbestand angewandte quantitative Literatur- und Internetrecherche (vgl. BORSDORF 2007:118, OTT & TIEDEMANN 1999:23f. & 103ff.), die als Basis für das weitere methodische Vorgehen dient (Abb. 1), findet aufgrund der räumlichen Ausdehnung des Untersuchungsgebiets Niedersachsen und mangelnder zentraler Erfassungsstellen oder Dachverbänden von niedersächsischen Lehrpfaden Anwendung (EDER & ARNBERGER 2014:70), um dennoch eine größtmögliche Anzahl dieser ausfindig zu machen. Trotz der möglichst umfänglichen Bestandsaufnahme erhebt die Studie keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da diese unter der Zielführung der Überblickverschaffung über die niedersächsische Lehrpfadkultur erfolgt (vgl. Kapitel 1). Bei der Literatur- und Internetrecherche selbst finden neben dem primären Lehrpfadbegriff ebenfalls sekundäre Suchbegriffe Anwendung, gemäß der Lehrpfadtypologie (vgl. Kapitel 2) zur Eingabe in die Suchmaschinen Google und Google Scholar sowie zur Eingabe in Literaturdatenbanken und Universitätskataloge, um aus verschiedenen Quellen, unter anderem Artikeln, Fachzeitschriften, Aufsätzen, Fachbüchern und Reiseführern/-handbüchern, Informationen über die Existenz von Lehrpfaden zu erhalten (BORSDORF 2007:118–125). Teils erfolgt die Internetrecherche nach dem Schneeballsystem (vgl. ebd.: 119). Das Internet nimmt im Rahmen der Bestandsaufnahme als Recherchemedium eine herausragende Position ein, da es global schnell zugängliche und aufbereitete Forschungsdaten bereithält (MOCHMANN 2019: 267). Obendrein stellen KREIMER ET AL. (2011:15) die mediale Lehrpfadvermarktung über das Internet als zentrales Pfadqualitätskriterium heraus, weshalb von einer Mannigfaltigkeit der Lehrpfadpräsentationen über das Internet auszugehen ist. Fehlerquellen im Rahmen der Datenerhebung, wie die Schnelllebigkeit von Internetinhalten und die möglichen Wartungsarbeiten sowie die Neueinrichtungen von Internetseiten, werden durch den ausgedehnten Erhebungszeitraum von zwei Monaten (Januar und Februar 2019) bedacht. Dennoch sind diffuse Angaben zum Lehrpfadtyp, wie die häufige Begriffsgleichsetzung des Lehrpfads mit dem Themenweg, möglich (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:56). Diese diffusen Angaben können jedoch mit Hilfe eines selektiven Abgleichs des erfassten Lehrpfads mit der aufgestellten Lehrpfaddefinition (vgl. Kapitel 2) geklärt werden. Fälschliche Angaben zur Pfadanlage auf den Internetseiten sind aufgrund der angewandten Forschungsmethode lediglich in einem gewissen Maße über die Sichtung verschiedener Internetauftritte der Lehrpfade überprüfbar.

3.2 Vorgehen bei der räumlichen Verortung und Typologisierung der niedersächsischen Lehrpfade

Nach der Bestandsaufnahme findet neben der Lehrpfadtypologisierung gemäß der Lehrpfadtypologie, die teils bereits mit der tabellarischen Notation der Pfadnamen im Rahmen der Bestandsaufnahme erfolgt, und der Lehrpfadsystematisierung (vgl. Kapitel 2) ihre räumliche Verortung in einer Karte von Niedersachsen statt (Abb. 1). Hieraus lassen sich im Anschluss geographische Ballungsräume von Lehrpfaden in Niedersachsen identifizieren (vgl. Kapitel 1). Erkenntnisleitend für die Typologisierung und die Systematisierung der Lehrpfade sowie für die Identifikation geographischer Lehrpfadballungsräume sind folgende aus dem aktuellen Wissenschaftsdiskurs abgeleitete Thesen:

T1: Die niedersächsischen Großschutzgebiete sind Ballungsräume für Lehrpfade (vgl. EDER & ARNBERGER 2014:70, ZOLLNER & JUNGMEIER 2003:8).

T2: Die klassischen Lehrpfade sind von Erlebnispfaden, Naturerlebnispfaden und Lernpfaden überholt (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:26f., 51 & 242, KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:85).

T3: Die deskriptive Form der Wissensvermittlung überwiegt bei den Lehrpfaden (vgl. EDER & ARNBERGER 2007a:56, KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:85, LANG & STARK 2000:9, ZOLLNER & JUNGMEIER 2003:9).

T4: Die Lehrpfade haben am häufigsten Wald, Natur und Moor zum Thema (vgl. EDER & ARNBERGER 2007b:29, KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:83, KREMB 2003:148, LUBW 2008:6).

Diese Thesen orientieren sich an den Systematisierungskriterien für Lehrpfade, wobei das Kriterium der medialen Gestaltung aufgrund seines Abhängigkeitsverhältnisses zur Wissensvermittlungsform unbeachtet bleibt. Ebenso können die Pfaderrichtungsmotive aufgrund ihrer medialen Intransparenz mit dem methodischen Vorgehen der Studie nicht erfasst werden (vgl. Kapitel 2). Die erhobenen Daten zu den Thesen werden mithilfe von statistischen Verfahren ausgewertet und grafisch aufbereitet (CRESWELL & CRESWELL 2018:156f., DORLING 2010:375–380, MEIER KRUKER & RAUH 2005: 114ff.).

3.3 Vorgehen bei der qualitativen BNE-Potenzialanalyse der Lehrpfade

An dieses Systematisierungsverfahren schließt der qualitative Teil der Studie an. Das Sample für die qualitativ-kriteriale Lehrpfadanalyse im Hinblick auf die BNE-Potenziale ergibt sich aus dem erfassten Lehrpfadbestand. Dementsprechend besteht das Sample aus den gezielt selektierten Lehrpfaden, die sich als vom NIEDERSÄCHSISCHEN KULTUSMINISTERIUM zertifizierte außerschulische Lernorte darstellen (vgl. NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM 2014:4–12). Hinzu kommen Lehrpfade, die sich grundsätzlich aufgrund ihres didaktischen Konzepts und ihrer Motive anbieten (vgl. Kapitel 2). Allerdings müssen diese zusätzlich im Rahmen der Lehrpfadsystematisierung das jeweilige auf die BNE ausgerichtete Bildungskonzept auf der Homepage transparent machen oder dort Schlüsselbegriffe, wie BNE oder Agenda-21, gebrauchen (Abb. 1). Die klassischen Lehrpfade kommen aufgrund ihrer zum BNE-Bildungskonzept kontrovers stehenden didaktischen Aufbereitung genauso wenig als Analysegegenstand in Frage wie die anderen Lehrpfadtypen, die ausschließlich Teilaspekte des BNE-Konzepts berücksichtigen (vgl. Kapitel 2). Obendrein bieten sich teilweise die im Analysesample enthaltenen Lehrpfade mit einem auf die BNE ausgerichteten Bildungskonzept aufgrund einer fehlenden Vergleichbarkeit zu den anderen Pfaden oder mangelnder Pfadwartung für den Analyseprozess nicht an (vgl. Kapitel 5).

Die kriteriale Analyse beugt gegenüber einer nicht-kriterialen Analyse Risiken, wie der geringen methodischen Formalisierung, den Deutungsschwierigkeiten, den Wissenslücken sowie den Negativeffekten auf die Ergebnisrelevanz sowie -akzeptanz, vor. Die Analysebasis bildet der Qualitätsfolder des E.C.O.

Instituts für Ökologie zu den Qualitätskriterien für Themenwege nach KREIMER ET AL. 2011 (vgl. KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:81). Diese Qualitätskriterien differenzieren sich in die Inhalts-, die Gestaltungs- sowie die Betreuungs- und Synergiequalität, die sich wiederum in Unterkriterien gliedern (Abb. 2). Die stärkste Gewichtung der Kriterien erhält laut KREIMER ET AL. 2011 die Gestaltungsqualität, worauf die Qualität des Inhalts und die Qualität der Betreuung und Synergien folgen. Gerade diese standardisierten Kriterien bieten sich mit ihrer Anwendbarkeit auf das gesamte niedersächsische Lehrpfadspektrum als Analysebasis besonders an (KREIMER ET AL. 2011:18). Obendrein gewährleisten sie für die Lehrpfadanalyse und -evaluation die notwendige Objektivität, die Transparenz, die Vergleichbarkeit, die Reliabilität sowie die Validität des Forschungsvorhabens. Dennoch reichen diese Kriterien mit Blick auf das zweite primäre Studienziel nicht aus, weshalb gemäß dem wissenschaftlichen Status quo die Erweiterung und die Spezifizierung des Kriterienkatalogs nach KREIMER ET AL. 2011 erfolgt (Abb. 2).

Das Kriterium der Inhaltsqualität beinhaltet die Unterkriterien des Standortpotenzials, des Themenpotenzials, des Informationsgehalts und des Umgebungsbezugs, die sich wiederum, wie bei den anderen Unterkriterien, aus Teilaspekten zusammensetzen (Abb. 2). Das Unterkriterium des Themenpotenzials mit den Aspekten der thematischen Relevanz und des thematischen Besucherinteresses (vgl. KISSER 2014:7–17) wird um die inhaltlichen Selektionskriterien für ein BNE-Thema nach DE HAAN 2002 (vgl. DE HAAN 2002:16f.) sowie um die/das wirklichkeitsnahe Situation/Problem als Ausgangspunkt der Lehrpfadthematik (vgl. LANGENHORST 2016:117, STANG 2016:28) erweitert (Abb. 2). Diese/s wirklichkeitsnahe Situation/Problem knüpft an die in der englischsprachigen Fachliteratur betonte übergeordnete Leitidee „theme“ (vgl. LEWIS 2011:37ff., HAM 1992:167) an. Zudem stellt die/das Situation/Problem den Alltagsbezug der Pfadinhalte für die PfadbesucherInnen her (LEHNES 2008:21).

Im Rahmen des Unterkriteriums Informationsgehalt erfolgt für ein eindeutiges Verständnis des Begriffs „gehaltvoll“ seine Spezifizierung mithilfe der Textverständniskriterien nach LANGER ET AL. (2015:65–74). Der Aspekt der Lehrpfadaktualität definiert sich über die 15-Jahresgrenze, die eine Inhaltsüberarbeitung des jeweiligen Lehrpfades nach maximal 15 Jahren vorsieht (SZEKERES 2003:104). Zudem wird der Informationsgehalt um den Aspekt des innovativen Wissens (vgl. BUDEBERG 2014:63f.) ergänzt (Abb. 2).

Darauf folgt das Kriterium der Gestaltungsqualität, welches nach KREIMER ET AL. 2011 für den nachhaltigen Wissenserwerb sowie -transfer gegenüber den anderen beiden Kriterien (Inhalts- sowie Betreuungs- und Synergiequalität) eine herausragende Position einnimmt (KREIMER ET AL. 2011:18). Dementsprechend wird vor allem bei der Gestaltungsqualität das Unterkriterium der pädagogischen Aufbereitung nach dem Bildungskonzept der BNE modifiziert. Somit muss ein BNE-Lehrpfad im Hinblick auf seine pädagogische Gestaltung die konsistente Gestaltungsdramaturgie (Corporate Design), den Spannungsbogen, die Zielgruppenpassung (soziokulturelle Besuchervoraussetzungen), die Umgebungs- und Themenpassung, die Zieltransparenz (vgl. LAN 2015:11) und gut gestaltete Stationen vereinen (LEHNES 2006:39, 42ff.).

Mit Blick auf die Methodik und die Didaktik ist das Kriterium der pädagogischen Aufbereitung sowohl um die System- und Problemlöseorientierung (vgl. LAN 2015:14f.), die Verständnis- und Werteorientierung sowie die Situations-, Handlungs- und Partizipationsorientierung des Lernens als auch um das selbstgesteuerte Lernen (vgl. KILLERMANN 2000:25, KISSER 2014:9ff.) in Bezug auf das Bildungskonzept der BNE zu modifizieren. Überdies sind bei der pädagogischen Aufbereitung die Lernformen des forschend-entdeckenden und des ganzheitlichen Lernens bedeutend. Die Unterkriterien der Nutzerfreundlichkeit und der technischen Aufbereitung (Art der medialen Wissensvermittlung und ihre Wartungsmöglichkeiten/-bedarfe) bleiben zu KREIMER ET AL. 2011 unverändert (vgl. KIESELSTEIN 2018:29). Bei dem Kriterium der Betreuungs- und Synergiequalität ersetzt das lehrpfadinterne (regionale) Produkt (Holz oder Trinkwasser) das nach KREIMER ET AL. 2011 regionale Produkt, da die Lehrpfade nicht die

Förderung der Regionalwirtschaft fokussieren. Zudem erfolgt der Nachtrag des Kriteriums der einheitlichen medialen Pfadpräsentation, da das Kriterium nach KREIMER ET AL. 2011 relevant ist (Abb. 2).

B N E - K r i t e r i e	<p>Qualität des Inhalts</p> <p><u>Standortpotenzial</u> pfadumgebende natürliche Gegebenheiten</p> <p><u>Themenpotenzial</u> Besucherrelevanz (Lebensweltbezug) & -interesse (breites Thema), wirklichkeitsnahe Situationen/ Probleme als thematischer Ausgang, lokales und/oder globales Thema, längerfristige Bedeutsamkeit, Differenziertheit des Wissens (Interdisziplinarität) & Handlungspotenzial des Themas (Partizipationsmöglichkeiten)</p> <p><u>Informationsgehalt</u> gehaltvoll nach Textverständniskriterien, korrekt, aktuell nach wissenschaftlichem Status quo, prägnant & anschaulich (Schriftbild, Text-Bild-Verhältnis & Text-Bild-Passung), Zielgruppenpassung (didaktische Inhaltsreduktion) & innovatives Wissen</p>
	<p>Qualität der Gestaltung</p> <p><u>Nutzerfreundlichkeit</u> Erreichbarkeit für PfadbesucherInnen, Orientierungs- & Wegleitsysteme (Beschilderungen, Lagepläne, technische Informationssysteme, Flyer & Informationstafeln), Begleitinfrastruktur (Gastronomie, Rundwege, Sehenswürdigkeiten, Rast- & Parkplätze) & Wegeigenschaften (Breite für mindestens zwei PfadbesucherInnen, kaum oder geringe Steigung & Wegbeschaffenheit)</p> <p><u>pädagogische Aufbereitung</u> Einbettung in Gesamtkonzept, Corporate Design, Spannungsbogen, Zielgruppen- & Umgebungsanpassung, Themenpassung, Zieltransparenz, System- & Problemlöseorientierung des Lernens, Verständnis- & Werteorientierung des Lernens, Situations-, Handlungs- & Partizipationsorientierung des Lernens, selbstgesteuertes Lernen, forschend-entdeckendes Lernen, ganzheitliches Lernen & gut gestaltete Stationen (interaktiv, spiel-, versuchs- & erfahrungsorientierte Stationen, High-Tech-Applikationen & landschaftskünstlerische Stationen)</p> <p><u>technische Aufbereitung</u> Besuchersicherheit (keine Verletzungsgefahren), Natur- & Landschaftsverträglichkeit der Stationsplatzierung/-gestaltung, Materialrobustheit vs. Witterungseinflüssen & unsachgemäßem Gebrauch & Wartung der technischen Stationselemente</p>
	<p>Qualität der Betreuung & Synergien</p> <p><u>notwendige Wartung & Betreuung</u> Wege & Infrastruktur des Pfads (Befreiung der Wege von Bewuchs, Sauberkeit & einwandfreie Funktionalität des Pfadinventars)</p> <p><u>weiterführende Angebote & regionale Produkte</u> Führungen, Exkursionen, Museen, nahe gelegene Bildungsangebote & regionale Produkte</p> <p><u>Bereitstellung von Weginformationen</u> Bereitstellung von bspw. Wegeigenschaften, Zeitaufwand, Sehenswürdigkeiten, Sanitäreinrichtungen und Speisemöglichkeiten über Broschüren & technische Informationsquellen</p> <p><u>einheitliche Pfadpräsentation über verschiedene Medien</u></p>

Abb. 2: Erweiterter Kriterienkatalog zur BNE-Evaluation von Lehrpfaden (in Anlehnung an: BLK 1998:28ff., BUDEBERG 2014:63f., DE HAAN 2002:14ff., GOTZMANN & HOFF 2010:44ff., KEHREN 2016:117, KILLERMANN 2000:24f., KISSER 2014:7–17, KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:81f., KREIMER ET AL. 2011:15–20, LAN 2015:14f., LANGENHORST 2016:117, LUCKER & KÖLSCH 2009:32, SCHRÖTER ET AL. 2013:233f., SZEKERES 2003:104, WOHLERS 2003:87–93).

Auf Basis der standardisierten Lehrpfadqualitätskriterien des zuvor vorgestellten erweiterten Kriterienkatalogs nach KREIMER ET AL. 2011 fanden Begehungen der im Analysesample enthaltenen Lehrpfade mit zusätzlichen Fotodokumentationen durch die Autorin im März des Jahres 2019 statt. In dieser Jahreszeit finden die Saisonvorbereitungen der PfadanbieterInnen allmählich ihren Abschluss. Für die Begehungen erfolgte die tabellarische Aufbereitung der standardisierten Qualitätskriterien, um die einzelnen Aspekte der Kriterien systematisch gemäß der kriterialen Gewichtung zu erfassen. Schneiden bereits die ersten schwach gewichteten Kriterien unzureichend ab, wird die Gestaltungsqualität des Lehrpfads nicht analysiert, da die anderen beiden Kriterien die Basis für einen gelungenen Lehrpfad legen (KREIMER ET AL. 2011:18). Für die einzelnen Aspekte (beispielsweise längerfristige Themenbedeutbarkeit) innerhalb eines Unterkriteriums (beispielsweise Themenpotenzial) erfolgte eine Punktevergabe, die einen Punkt je erfülltem Aspekt, einen halben Punkt je teils erfülltem Aspekt und keinen Punkt für die fehlende Umsetzung eines Aspekts vorsieht. Nach der Punktevergabe fand die Addition der vergebenen Punkte statt, um jedes Unterkriterium einem der drei gleich großen Ampelintervalle zuzuordnen. Die Darstellung der Analyseergebnisse mit der Ampelmethode ermöglicht durch die mit der Straßenverkehrsampel vergleichbaren Farbgestaltung in Rot (nicht ausreichend und kein BNE-Potenzial), Gelb (befriedigend und teils BNE-Potenzial) und Grün (gut und BNE-Potenzial) einen schnellen sowie umfassenden Überblick über die Pfadevaluationen und damit einhergehend über die bereichsspezifischen BNE-Potenziale der einzelnen Lehrpfade (WAHL 2006:281). Damit steuert die Darstellungsmethode Bewusstmachungsprozesse des/der BetrachterIn (ebd.:75). Ebenso unterstützt die Methode unter Berücksichtigung der Gewichtung der Qualitätskriterien für Lehrpfade die Aufstellung eines Lehrpfadranks nach dem Maß an BNE-Potenzialen der analysierten Lehrpfade und eignet sich für die Identifikation eines Beispiels guter Praxis (vgl. Kapitel 5.4).

4. Bestandsaufnahme der niedersächsischen Lehrpfade

Die folgende Karte von Niedersachsen gibt zunächst einen Überblick über den Lehrpfadbestand und bildet zugleich die räumliche Verortung sowie die Pfadtypen der 426 erfassten Lehrpfade ab (Abb. 3).

Sie stellt zudem die Lehrpfade als ein niedersachsenweites informelles Bildungsinstrument heraus. Zum Beispiel fungieren in der Region Hannover oder den Landkreisen Osnabrück und Lüchow-Dannenberg die mehr als 20 Lehrpfade (pro Landkreis) als informelle Bildungsinstrumente. Eine besondere Position nehmen aufgrund ihrer herausragenden Lehrpfadzahlen die Landkreise Goslar und Göttingen ein (Abb. 3). Neben den lehrpfadreichen Landkreisen besitzt selbst die kreisfreie Stadt Salzgitter, die keine Lehrpfade aufweist (Abb. 3), mit den in dieser Studie nicht erfassten Geopfaden ein informelles Bildungsinstrument (vgl. STADT SALZGITTER 2019).

Trotz dessen lassen sich kreisfreie Städte, wie Salzgitter, Braunschweig, Wolfsburg, Emden und Wilhelmshaven, und Landkreise, wie Hildesheim, Peine, Verden und Grafschaft Bentheim, mit geringen Lehrpfadbeständen identifizieren, die Handlungsräume für weitere Lehrpfaderrichtungen eröffnen (Abb. 3).

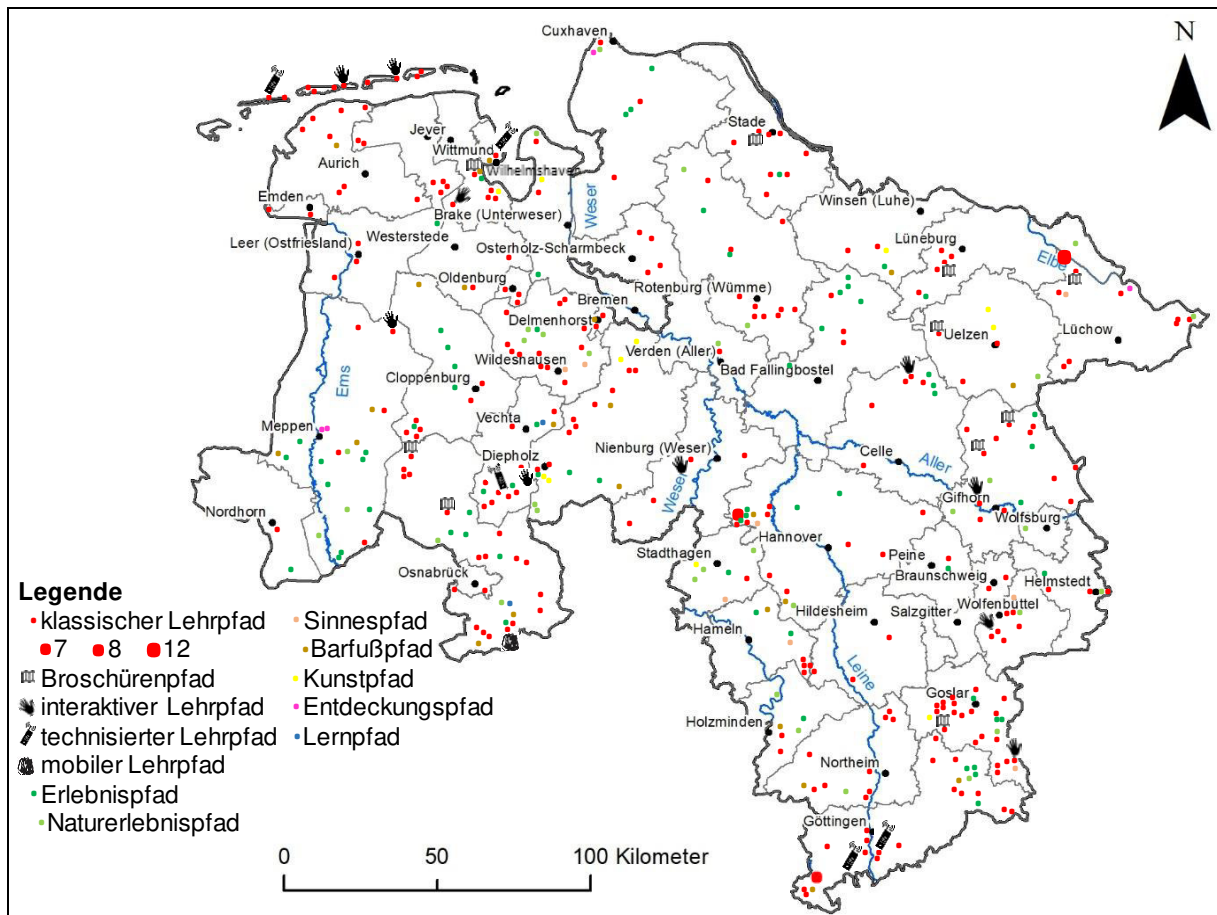


Abb. 3: Übersichtskarte zum niedersächsischen Lehrpfadbestand (Kartengrundlage: BKG 2019).

4.1 Trend der peripheren Lehrpfaderrichtung

Die großen Pfadansammlungen im Landkreis Goslar und im nordöstlichen Teil des Landkreises Göttingen gehören dem Nationalpark Harz an. Selbst der Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer weist im Verhältnis zur Größe der Ostfriesischen Inseln viele kleinere Lehrpfadansammlungen auf. Allerdings zeigen die Ostfriesischen Inseln Wangerooge und Borkum hinsichtlich der Lehrpfaderrichtungen Ergänzungsbedarf. Allgemein sprechen diese Lehrpfadbestände für Pfadballungen in den niedersächsischen Nationalparks Harz und Niedersächsisches Wattenmeer (Abb. 4).

Für die niedersächsischen Natur- und Geoparks ergibt sich ein ähnliches Bild, da sich die Lehrpfade in einigen Naturparks über die gesamte Schutzgebietsfläche verteilen. Ein Beispiel hierfür ist der große Lehrpfadbestand im Natur- und Geopark TERRA.VITA, der vom südöstlichen Emsland aus Richtung Ankumer Höhe über das südöstliche Oldenburger Münsterland und das Osnabrücker Land verläuft. Ebenso kommen Lehrpfade über die gesamte Schutzgebietsfläche des Naturparks Harz, des Nationalparks Harz und des Naturparks Wildeshäuser Geest vor, wobei im letzteren Naturpark hauptsächlich klassische Lehrpfade existieren (Abb. 4). Im Gegensatz dazu konzentrieren sich in anderen niedersächsischen Naturparks die Lehrpfade auf einzelne geographische Räume innerhalb der jeweiligen Großschutzgebiete. Als Beispiele sind der Nordwesten und Osten des Biosphärenreservats Niedersächsische Elbtalau, der Norden, der Nordosten und der Südwesten des Naturparks Elbhöhen-Wendland, der Nordosten und Nordwesten des Naturparks Lüneburger Heide, der nördliche Bereich des Naturparks Südheide, der Osten des Naturparks Elm-Lappwald und der Südwesten des Naturparks Münden, in dem vor allem eine große Zahl an klassischen Lehrpfaden vorkommt, zu nennen. Hinzu kommen

Ballungsräume der Lehrpfade von Nord- bis Südosten des Naturparks Weserbergland, im süd-/südöstlichen Bereich des Naturparks Steinhuder Meer sowie im Norden, Süden und Westen des Naturparks Dümmer. Des Weiteren finden sich kleinere Lehrpfadhäufungen, die häufig aus zwei Lehrpfaden bestehen, im südöstlichen sowie -westlichen Bereich des Naturparks Hümmling. Die geringste Anzahl und damit Dichte von Lehrpfaden zeigt der Naturpark Bourtanger Moor – Bargerveen mit zwei Lehrpfaden auf. Gerade der Naturpark Bourtanger Moor – Bargerveen bietet Handlungspotenzial für weitere Lehrpfade, da er besondere natürliche Gegebenheiten, wie die Torfabbaugeschichte, die Wasserflächen und die landwirtschaftliche Nutzung, besitzt. Ebenso verzeichnen die Naturparke Hümmling und Elm-Lappwald mit fünf Lehrpfaden pro Naturpark wie der Naturpark Südheide mit sechs Lehrpfaden eine äußerst geringe Lehrpfadzahl (Abb. 4). Der Naturpark Solling-Vogler besitzt mit acht Lehrpfaden ebenfalls wenige Lehrpfade. Hinzu kommen die in anderen Naturparks oder Landkreisen von Lehrpfaden freie Räume, die mit ihren naturräumlichen Alleinstellungsmerkmalen Standortpotenzial aufweisen und somit Handlungsräume für Lehrpfaderrichtungen eröffnen (Abb. 4).

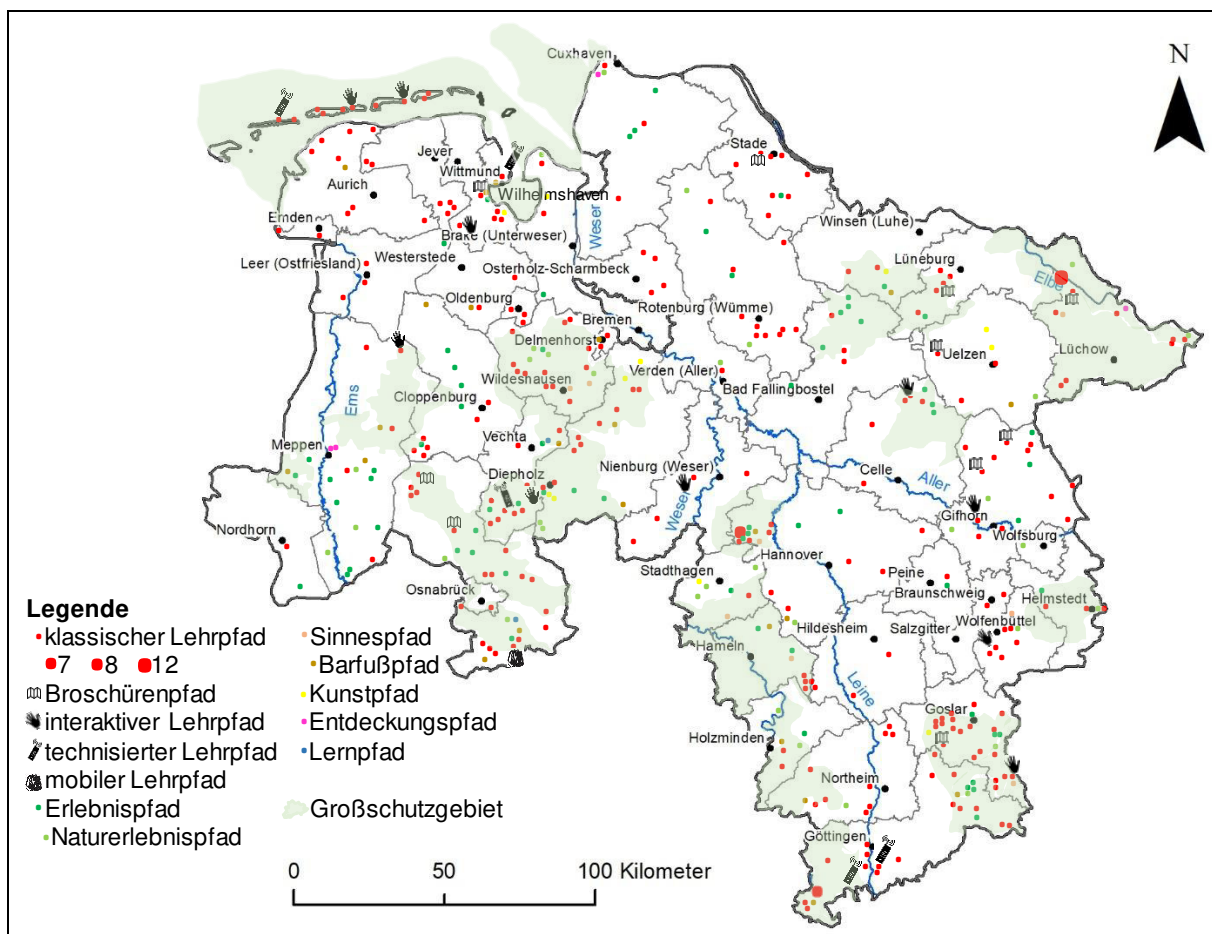


Abb. 4: Karte zu den niedersächsischen Großschutzgebieten als Lehrpfadballungsräume (Kartengrundlage: BKG 2019, MU 2017:5).

Neben den großen Lehrpfadbeständen in den Großschutzgebieten, die sich in peripheren Räumen konzentrieren, befinden sich andere im Stadtzentrum oder in Stadtnähe. Dies trifft unter anderem auf die Landkreise mit den Städten Gifhorn, Helmstedt, Braunschweig, Wolfenbüttel, Goslar, Göttingen, Northeim, Holzminden, Stadthagen, Diepholz, Verden, Delmenhorst, Oldenburg, Wildeshausen, Cloppenburg, Vechta, Osnabrück, Nordhorn, Meppen, Leer, Emden, Wilhelmshaven, Cuxhaven, Stade, Rotenburg-Wümme, Lüneburg und Uelzen zu. Zudem existieren stadtoökologische Lehrpfade in Bad Salzdetfurth, Wolfenbüttel, Helmstedt, Goslar, Göttingen, Melle, Oldenburg, Leer und Stade sowie dorfökologische Lehrpfade in Edemissen, Mardorf, Nethen und Südgellersen. In den Landkreisen, deren Städte

nicht aufgeführt sind, befinden sich die Lehrpfade eher in den peripheren Räumen (Abb. 3), die wiederum häufig innerhalb von Schutzgebietsflächen liegen. Allerdings zeigt die Karte ebenso größere Lehrpfadbestände, unter anderem im Landkreis Gifhorn, im westlichen Wolfenbüttel, in der südlichen Hälfte des Emslandes, im Norden des Landkreises Leer, im Süden des Landkreises Wittmund, im östlichen bis südöstlichen Friesland, im Süden und Osten des Landkreises Stade und im Südosten und -westen des Landkreises Rotenburg-Wümme, außerhalb von Großschutzgebieten. Dies verwundert vor dem Hintergrund der wesentlichen Lehrpfadinitiierung durch Schutzgebiete aufgrund von Großschutzgebietsvorteilen, wie der einzigartige Landschaftscharakter, die geringe Bevölkerungsdichte und der nachhaltige Tourismus, und des schutzgebietsbezogenen Trends von Lehrpfaden als Bildungsinstrument (EDER & ARNBERGER 2014:70f.). Trotzdem findet die These, dass Großschutzgebiete Lehrpfadballungsräume darstellen, ihre Bestätigung (vgl. Kapitel 3.2). Allerdings ist zu ergänzen, dass neben diesen Ballungsräumen vereinzelt Lehrpfade außerhalb der Schutzgebiete, in Stadtnähe, wie bei Diepholz und Delmenhorst, oder mit stadtoökologischen Lehrpfaden in der Stadt selbst liegen (Abb. 4).

4.2 Klassische Lehrpfade auf der Überholspur

In diesen zuvor skizzierten geographischen Räumen kommen spezifische Lehrpfadtypen vor. Die Vielzahl an klassischen Lehrpfaden in der Karte zu Niedersachsen erweckt den Eindruck der bundeslandweiten Dominanz klassischer Lehrpfade (vgl. Kapitel 3.2). Die nachstehenden Kreisdiagramme nehmen die farbliche Gestaltung der Lehrpfadtypen aus der Karte auf und verdeutlichen die Situation der Lehrpfadtypen in Niedersachsen (Abb. 3 & 5).

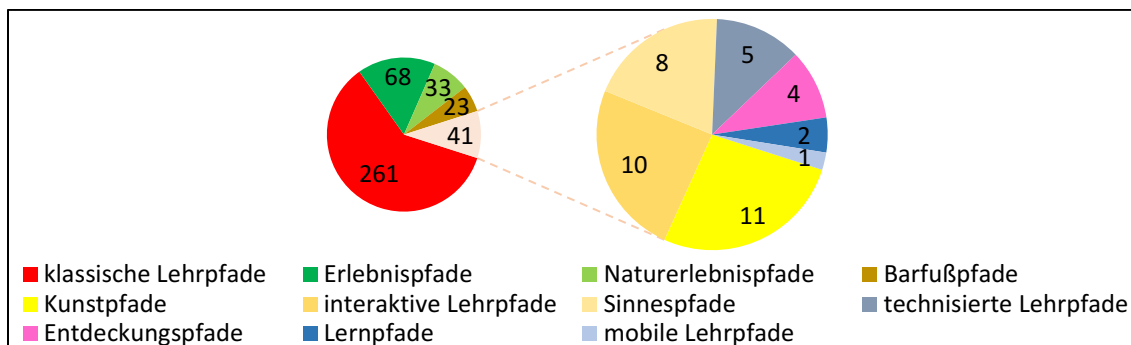


Abb. 5: Die Häufigkeit der Lehrpfadtypen in Niedersachsen (N = 426) (eigene Erhebung).

Der erste Blick auf das linke Kreisdiagramm, das sich in 261 klassische Lehrpfade (inklusive Broschürenpfade), 68 Erlebnispfade, 33 Naturerlebnispfade, 23 Barfußpfade als spezifische Form des Sinnespfads sowie in 41 verschiedenste Lehrpfadtypen untergliedert, bestätigt mit dem enormen Überhang an klassischen Lehrpfaden den ersten Eindruck zu ihrer Dominanz (Abb. 5). Die 41 verschiedenen Lehrpfade des erfassten Lehrpfadbestands, die das rechte Kreisdiagramm in zehn interaktive Lehrpfade, acht Sinnespfade, fünf technisierte Lehrpfade, vier Entdeckungspfade, zwei Lernpfade, einen mobilen Lehrpfad und elf Kunstpfade differenziert, führen aufgrund ihrer geringen Zahl ebenfalls zu keiner veränderten Prävalenz der klassischen Lehrpfade. Die Subsummierung der Erlebnispfade und der Naturerlebnispfade, Zweitere bilden einen spezifischen Typen des Erlebnispfads ab (vgl. Kapitel 2), ergibt nicht mal die Hälfte der klassischen Lehrpfade. Ebenso wenig verändert die weitere Hinzurechnung der Lernpfade zu den Erlebnispfaden und Naturerlebnispfaden an der Überlegenheit der klassischen Lehrpfade etwas (Abb. 5). Folglich ist die These der Prävalenz der handlungsorientierten Lehrpfade durch die Dominanz an klassischen Lehrpfaden widerlegt (vgl. Kapitel 3.2).

Auf der Landkreisebene nehmen die klassischen Lehrpfade ebenfalls eine Vormachtstellung ein, da andere Lehrpfadtypen, unter anderem die Sinnes- und Barfußpfade, die Kunstpfade, die Entdeckungs-

pfade, die mobilen Lehrpfade, die technisierten Lehrpfade und interaktiven Lehrpfade, ausschließlich vereinzelt in wenigen Landkreisen existieren (Abb. 3). Auch die Erlebnispfade, Naturerlebnispfade und Lernpfade halten in einigen Landkreisen Niedersachsens, unter anderem Hildesheim, Nienburg, Osterholz-Scharmbeck, Ammerland und Aurich sowie den kreisfreien Städten Braunschweig, Delmenhorst, Emden, Oldenburg und Wilhelmshaven, keinen Einzug, weil dort neben Barfuß- oder Sinnespfaden ausschließlich klassische Lehrpfade als informelles Bildungsinstrument existieren. Hinzu kommen die Landkreise, unter anderem Gifhorn, Goslar, Wolfenbüttel, Göttingen, Hannover, Northeim, Diepholz, Vechta, Osnabrück, Oldenburg, Leer, Harburg, Rotenburg-Wümme, Lüneburg und Lüchow-Dannenberg, die ein Übergewicht an klassischen Lehrpfaden verzeichnen (Abb. 3). Eine Ausnahme bildet das ausgewogene Verhältnis von klassischen Lehrpfaden, Erlebnis- und Naturerlebnispfaden sowie Lernpfaden in den Landkreisen Peine, Verden, Wesermarsch und Grafschaft Bentheim. Eine Umkehrung des Dominanzverhältnisses zeigen lediglich die Landkreise Holzminden, Schaumburg, Heidekreis, Cuxhaven und Emsland, in denen eine größere Zahl an Erlebnis- und Naturerlebnispfaden vorliegt als an klassischen Lehrpfaden. Die kreisfreie Stadt Wolfsburg nimmt mit seinem Naturerlebnispfad neben der an Geopfaden reichen kreisfreien Stadt Salzgitter eine Sonderstellung ein (Abb. 3). Folglich kann die Dominanz der klassischen Lehrpfade auf der Landkreisebene lediglich für fünf Landkreise eindeutig widerlegt werden, weshalb angesichts der Zahl an niedersächsischen Landkreisen für die Landkreisebene ebenso die Vormachtstellung der klassischen Lehrpfade gilt (vgl. Kapitel 3.2).

4.3 Unberührte Textprävalenz

Der dominierende klassische Lehrpfadbestand deutet bereits an, dass die überwiegende Anwendung der deskriptiven Wissensvermittlung unter den Lehrpfaden zutreffen könnte (vgl. Kapitel 3.2). Das nachfolgende Balkendiagramm gibt Aufschluss über die tatsächliche prozentuale Verteilung der Wissensvermittlungsformen innerhalb des niedersächsischen Lehrpfadbestands (Abb. 6).

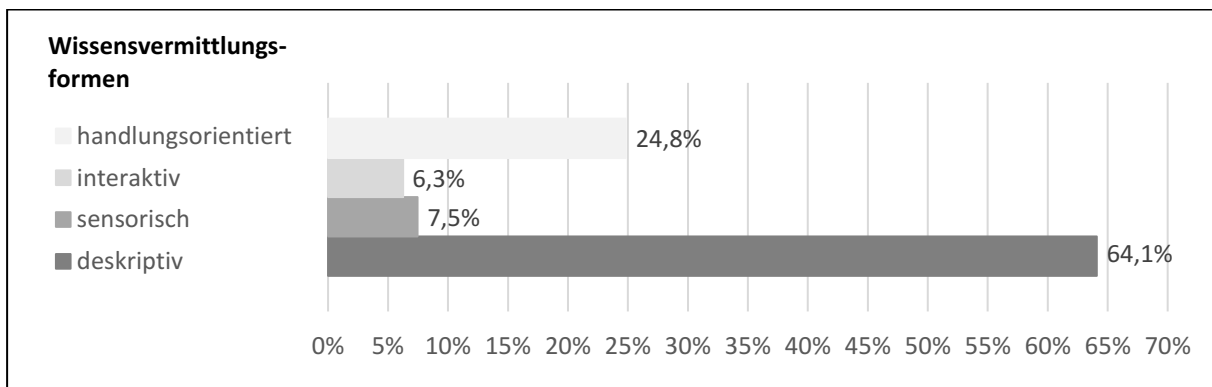


Abb. 6: Die Wissensvermittlungsformen der niedersächsischen Lehrpfade (N = 426) (eigene Erhebung).

Hiernach dominiert mit 64,1 % die deskriptive Wissensvermittlung, worauf die Handlungsorientierte mit 24,8 % folgt. Dagegen macht die interaktive Wissensvermittlungsform mit 6,3 % den geringsten Teil am Lehrpfadbestand aus. Etwas höher als die interaktive Wissensvermittlung fällt die Sensorische mit 7,5 % aus. Mit einer anderen Definition von interaktiven und sensorischen Lehrpfaden, die einen geringeren Prozentsatz von interaktiven oder sensorischen Elementen innerhalb eines Pfads fordert, wäre ein anderes Bild und damit eine größere Zahl an sensorischer und interaktiver Wissensvermittlung die Folge (vgl. Kapitel 2). Ebenso bestünde entgegen der Zuordnung der Entdeckungspfade zur interaktiven Wissensvermittlungsform mit der Einordnung der Entdeckungspfade, die teils zu gleichen Anteilen sensorische und interaktive Anteile aufweisen, zur sensorischen Vermittlungsform eine grö-

ßere Zahl an Lehrpfaden mit sensorischer Wissensvermittlung (Abb. 6). Diese Umstände würden jedoch keinen Einfluss auf die Prävalenz der deskriptiven Vermittlungsform nehmen, weshalb sich die These des Übergewichts der deskriptiven Wissensvermittlungsform für den niedersächsischen Lehrpfadbestand bestätigt (vgl. Kapitel 3.2).

4.4 Klassische Lehrfadthemen haben Bestand

Neben der Lehrpfadsystematisierung gemäß der Lehrpfadtypologie und der Wissensvermittlungsformen ist die Systematisierung ebenso mittels der Pfadthematiken möglich (vgl. Kapitel 2). Die thematische Vielfalt des Lehrpfadbestands zeigt das nachstehende Kreisdiagramm (Abb. 7).

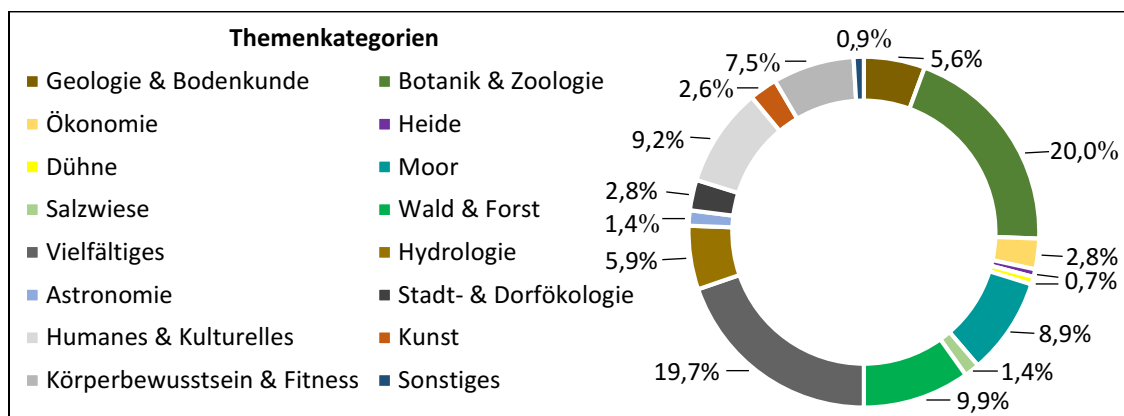


Abb. 7: Die Themenvielfalt des niedersächsischen Lehrpfadbestands (N = 426) (eigene Erhebung).

Das Diagramm bildet 19,7 % vielfältige Themen ab, worunter unter anderem die teils inhaltlich diffusen Naturlehrpfade und inhaltlich breitgefächerten Lehrfadthemen fallen. Am häufigsten existieren unter den niedersächsischen Lehrpfaden mit 20 % die botanischen und zoologischen Thematiken (Abb. 7).

Innerhalb der Themenkategorie *Botanik & Zoologie* dominieren mit 52,9 % die botanischen Themen, wie (Obst-)bäume und Feldlilien, die demzufolge über 50 % dieser Kategorie ausmachen. Im Gegensatz dazu bilden die zoologischen Themen, zu denen die Bienen, Vögel, Insekten, Waldtiere, Biber und Otter zählen, ausschließlich 40 % der Themenkategorie *Botanik & Zoologie* ab. Eine Korrelation von botanischen und zoologischen Themen kommt allein bei 7,1 % aller Lehrpfade vor (Abb. 8).

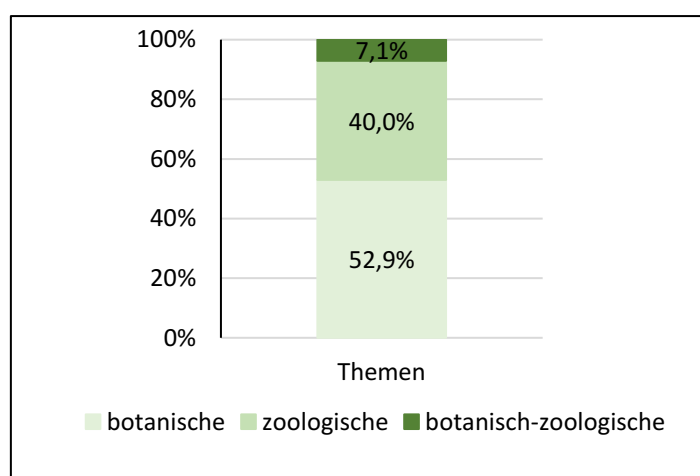


Abb. 8: Aufspaltung der Themenkategorie Botanik & Zoologie (N = 85) (eigene Erhebung).

Auf die vielfältigen Themen sowie die botanischen und zoologischen Themen folgen mit 9,9 % die Wald- und Forstthemen sowie mit 9,2 % die human-kulturellen Themen. Die human-kulturelle Themenkategorie subsummiert Themen von Kultur über Archäologie bis hin zu niedersächsischen Grenzen. Die Lehrpfade zum Moor thematisieren unter anderem das Moorökosystem, die Moorrenaturierung und die Nutzung der Moore. Sie repräsentieren 8,9 % aller Thematiken des Gesamtlehrpfadbestands. Mit 7,5 % machen die Themen zum Körperbewusstsein (Sinnes- und Barfußpfade) und zur Fitness (Golfpfad) einen geringen Anteil am Lehrpfadbestand aus. Vor dem Hintergrund des Gesundheits- und Fitnesshypes in der deutschen Bevölkerung und der damit anzunehmenden hohen Frequentierung sowie Beliebtheit der sinnes- und bewegungsorientierten Lehrpfade kommen diese geringfügig vor (EDER & ARNBERGER 2007a:240). Die hydrologischen Themen mit 5,9 %, worunter Inhalte zu Quellen, Fließgewässern und zum Trinkwasser fallen, und die geologisch-bodenkundlichen Themen mit 5,6 %, wie Geologie, Bergbau und Boden, machen ebenso einen geringen Anteil am Lehrpfadbestand aus (Abb. 7). Die Stadt- und Dorfökologie (2,8 %), die Ökonomie (2,8 %) mit Inhalten zu Landwirtschaft, Fischerei undASSE sowie die Kunst (2,6 %) mit Inhalten zu Stelen und Skulpturen spielen eine unerhebliche Rolle im Hinblick auf die Lehrpfadthematiken. Eine noch geringere Bedeutung besitzen mit unter 2 % die Salzwiesen- und Astronomiethematiken. Die Dünen- und Heidepfade sind mit je 0,7 % unbedeutend. Gleiches gilt für die Energie- und Spaßthemen der Kategorie *Sonstiges* mit 0,9 % (Abb. 7).

Aus dieser prozentualen Verteilung der Lehrpfadthemen ergibt sich mit Blick auf die Verteilung der Lehrpfadthematiken in den Jahren 2002 (vgl. EDER & ARNBERGER 2007b:29), 2003 (vgl. KREMB 2003:148), 2008 (LUBW 2008:6) und 2016 (vgl. KOVAROVICS & JUNGMEIER 2016:83) unter der Subsummierung der Thematiken Wald, Natur (zugehörig zur Themenkategorie *Vielfältiges*) und Moor keinerlei Veränderung, womit zunächst die These der Dominanz dieser Themen bestätigt ist. Allerdings zeigt die Betrachtung der einzelnen Themenkategorien ein anderes Bild (Abb. 7). Die botanischen und zoologischen Themen dominieren mit 20 % gegenüber den anderen Lehrpfadthemen, wohingegen die Wald- und Forstthematiken sowie die Moorthe matiken Differenzen von rund 10 % und 11 % zu den botanischen und zoologischen Themen aufzeigen (Abb. 7). Hinzu kommt, dass die Themenkategorie *Vielfältiges* allein zu zwei Drittel reine Naturlehrpfade enthält, weshalb die Natur allenfalls nach der botanischen und zoologischen Themenkategorie die zweithäufigste Lehrpfadthematik darstellt. Erst darauf folgen die Themen Wald und Forst (9,9 %) sowie Moor (8,9 %) (Abb. 7). Demzufolge kommen entgegen der These die botanischen und zoologischen Lehrpfadthemen am häufigsten vor, worauf die Themen Natur sowie Wald und Forst folgen. Das Moor mit 8,9 % aller Lehrpfadthemen bildet unter Berücksichtigung der human-kulturellen Thematiken, die einen Anteil von 9,2 % am Lehrpfadbestand ausmachen, nicht einmal die viertstärkste Themenkategorie ab (Abb. 7).

5. BNE-Potenziale ausgewählter Lehrpfade

Auf Grundlage dieser quantitativen Auswertungen zum niedersächsischen Lehrpfadbestand ergibt sich nach einer Durchsicht der erfassten Lehrpfade auf potentielle BNE-Pfade das Analysesample (vgl. Kapitel 3.3). Dazu zählen der Innere Ring des Stadtökologischen Leer-Pfads, der Waldlehrpfad Syke, der Trinkwasserlehrpfad Nethen, der Moorerlebnispfad Diepholz, der Naturerlebnispfad Springe, der biocache Lernpfad Vechta, der Meller 7-Steine GPS-Broschürenpfad, der Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg, der Moorerlebnispfad Wedemark-Resse, der Walderlebnispfad Goslar und der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz. Der biocache Lernpfad in Vechta mit seiner GPS-Ausrichtung und der 7-Steine Broschürenpfad in Melle finden aufgrund ihrer geringen Vergleichbarkeit mit den anderen ausgewählten Pfaden in der Analyse keine Berücksichtigung. Der Naturerlebnispfad Springe fällt ebenfalls aufgrund seiner unzureichenden Pfadinfrastrukturwartung aus der Analyse heraus.

5.1 Inhaltspotenziale

Die Analyse erfolgt gemäß der im Methodenkapitel aufgestellten Kriteriengewichtung (vgl. Kapitel 3.3). Aufgrund dessen richtet sich der Blick zunächst auf das Kriterium der Qualität des Inhalts und auf das der Qualität der Betreuung und Synergien, um dann auf das Kriterium der Gestaltungsqualität einzugehen. Die nachstehende Tabelle gibt zunächst einen Überblick über die Evaluation der Inhaltsqualität der analysierten Lehrpfade (Tab. 2).

Tab. 2: Die Inhaltsqualität der Lehrpfade (● nicht ausreichend, ● befriedigend, ● gut) (eigene Darstellung).

Lehrpfade	Stadt-ökologischer Leer-Pfad	Wald-lehrpfad Syke	Trinkwasser-lehrpfad Nethen	Moorer-lebnis-pfad Diepholz	Boden- & Wur-zelpfad Bad Harzburg	Moorer-lebnis-pfad Wedemark-Resse	Walder-lebnis-pfad Goslar	Wald-Er-lebnis-Pfad Zweidorfer Holz
Standort-potenzial	●	●	●	●	●	●	●	●
Themen-potenzial	●	●	●	●	●	●	●	●
Informati-onsgehalt	●	●	●	●	●	●	●	●
Umgebungs-bezug	●	●	●	●	●	●	●	●

Die Evaluationsergebnisse der analysierten Lehrpfade zur Inhaltsqualität, dargestellt mit der Ampelmethode, stellen für alle analysierten Lehrpfade mit ihren besonders positiven natürlichen Gegebenheiten Standortpotenziale für die BNE heraus (Tab. 2).

Das Kriterium des Themenpotenzials ist ebenfalls mit Ausnahme des Waldlehrpfads Syke bei allen analysierten Lehrpfaden positiv evaluiert. Gründe für das negative Evaluationsergebnis des Waldlehrpfads Syke sind die fehlende thematische Besucherrelevanz, der fehlende wirklichkeitsnahe oder problem-/situationsorientierte thematische Ausgangspunkt, die mangelnde längerfristige Themenbedeutsamkeit (Gebrauch der Zeigefinger- und Katastrophendidaktik) und das ausbleibende Handlungspotenzial des Pfadthemas. Demzufolge liegt für diesen Pfad kein thematisches BNE-Potenzial vor. Die positiv evaluierten Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz berücksichtigen allein teils die thematische Besucherrelevanz und das -interesse. Der Walderlebnispfad Goslar geht zudem nicht von einer realitätsnahen Situation als thematischen Ausgangspunkt aus. Die Moorerlebnispfade beachten im Rahmen des Themenpotenzials allein durch Informationen zum Moorschutz und zur Moorregeneration in Teilen das thematische Handlungspotenzial, wohingegen der Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg diesen Aspekt gänzlich ungeachtet lässt. Ausschließlich der Stadtökologische Leer-Pfad und der Trinkwasserlehrpfad Nethen berücksichtigen alle Aspekte des Themenpotenzials und bieten somit gegenüber den anderen Lehrpfaden herausragende thematische Potenziale für die BNE. Die anderen Lehrpfade sind trotz ihrer positiven Evaluation um die jeweiligen zuvor angeführten unberücksichtigten Aspekte in ihrem Themenpotenzial für die BNE eingeschränkt (Tab. 2).

In puncto Informationsgehalt erhalten neben der befriedigenden Evaluation des Stadtökologischen Leer-Pfads, der Moorerlebnispfade Diepholz und Wedemark-Resse sowie des Boden- und Wurzelpfads Bad Harzburg der Trinkwasserlehrpfad Nethen sowie die Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz eine positive Evaluation. Der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz ist lediglich im Sinne der sprachlichen Einfachheit im geringen Maße in seinen BNE-Potenzialen eingeschränkt. Bei dem Trinkwasserlehrpfad Nethen und dem Walderlebnispfad Goslar kommt neben der teils didaktischen Inhaltsreduktion die teils unzureichende Inhaltsanschaulichkeit als Einschränkung ihrer Inhaltspotenziale hinzu. Der

als befriedigend evaluierte Stadtökologische Leer-Pfad vermittelt zwar korrekte anschauliche Inhalte sowie innovatives Wissen, greift jedoch aufgrund seiner überwiegenden Fokussierung der biotischen Wechselwirkungen der Stadtökologie inhaltlich zu kurz. Hinzu kommen die sprachliche Komplexität sowie die Textlänge der Stationstafeln, woraus wiederum eine mangelnde Inhaltsprägnanz sowie eine unzureichende Zielgruppenpassung resultieren. Demnach besitzt der Leer-Pfad im Hinblick auf seinen Informationsgehalt allein korrekte Inhalte, innovatives Wissen und anschauliche Pfadinhalte als BNE-Potenziale. Für die Moorerlebnispfade Diepholz und Wedemark-Resse sowie den Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg gelten die korrekten und aktuellen Inhalte sowie die Inhaltsprägnanz oder -anschaulichkeit als BNE-Potenziale. Die fehlende Inhaltsprägnanz oder -anschaulichkeit, die nicht existente inhaltsbezogene Zielgruppenpassung sowie die allein teils oder gar nicht berücksichtigte innovative Wissensvermittlung bei den Moorerlebnispfaden und dem Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg führen zu Potenzialeinbußen innerhalb ihres Informationsgehalts. Zuletzt ist die sprachliche Komplexität der Tafeltexte ein BNE-Defizit (Tab. 2). Über den geringsten Informationsgehalt verfügt aufgrund von wenig gehaltvollen Inhalten, unter Ausnahme der Stimulanz (Beispiele zum Lebensraum Totholz, der Vergleich des jährlichen Waldflächenverlusts mit der gesamtdeutschen Fläche und objektbezogene Veranschaulichungen), veralteten und inkorrekten Pfadinhalten beispielsweise zum jährlichen Waldflächenverlust, fehlender Inhaltsanschaulichkeit, mangelnder inhaltsbezogener Zielgruppenpassung und defizitärer Vermittlung von innovativem Wissen der Waldlehrpfad Syke (Tab. 2).

Des Weiteren weisen drei der analysierten Lehrpfade, darunter der Stadtökologische Leer-Pfad, der Waldlehrpfad Syke und der Moorerlebnispfad Diepholz, häufig umgebungsunabhängige Stationsinhalte auf, weshalb bei diesen Pfaden eine befriedigende Themen-Umwelt-Passung vorliegt und diese aufgrund dessen begrenzte Umgebungspotenziale für die BNE aufweisen. Im Gegensatz dazu verzeichnen die anderen Lehrpfade mit ihren äußerst positiven Evaluationsergebnissen zum inhaltlichen Umgebungsbezug die Themen-Umwelt-Passung als BNE-Potenzial (Tab. 2).

5.2 Betreuungs- und Synergiepotenziale

In Anbetracht der Qualität der Betreuung und Synergien zeichnet sich gegenüber der Inhaltsqualität eher eine durchwachsene Betreuungs- und Synergiequalität der Lehrpfade ab, da einige der Unterkriterien lediglich befriedigend von den Lehrpfaden erfüllt werden (Tab. 3).

Tab. 3: Die Betreuungs- und Synergiequalität der Lehrpfade (● nicht ausreichend, ● befriedigend, ● gut) (eigene Darstellung).

Lehrpfade Kriterien	Stadt- ökolo- gischer Leer- Pfad	Wald- lehrpfad Syke	Trink- wasser- lehrpfad Nethen	Moorer- lebnis- pfad Diepholz	Boden- & Wur- zelpfad Bad Harzburg	Moorer- lebnis- pfad We- demark- Resse	Walder- lebnis- pfad Goslar	Wald-Er- lebnis- Pfad Zweidor- fer Holz
notwendige Wartung & Betreuung	●	●	●	●	●	●	●	●
weitere Angebote & regionale Pro- dukte	●	●	●	●	●	●	●	●
Bereitstellung von Weginfor- mationen	●	●	●	●	●	●	●	●
einheitliche mediale Pfad- präsentation	●	●	●	●	●	●	●	●

Die Wartung und Betreuung stellt sich für den Trinkwasserlehrpfad in Nethen, den Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg, den Moorerlebnispfad Wedemark-Resse und die Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz positiv dar. Folglich bilden diese Lehrpfade umfassende Wartungs- und Betreuungspotenziale im Hinblick auf die BNE ab. Dagegen zeigt der Stadtökologische Leer-Pfad mit seiner defizitären Pfadwartung und -betreuung, die sich durch von Witterung und Vandalismus geprägte Stations tafeln und -texte äußert, keinerlei bis kaum Potenziale für die BNE. Lediglich mit der Instandsetzung der Stationstafeln und Intarsien könnte dieser Pfad die Bedingungen für eine gute Wartung und Betreuung schaffen. Der Waldlehrpfad Syke und der Moorerlebnispfad Diepholz schneiden aufgrund ihrer vandalismus- und witterungsgeprägten Stationstafeln und -elemente sowie der daraus resultierenden eingeschränkten Funktionalität der Pfadinfrastruktur mit einem befriedigenden Evaluationsergebnis ab, weshalb ihre Wartungs- und Betreuungspotenziale um die angeführten Makel begrenzt sind (Tab. 3).

In Anbetracht des Kriteriums der weiterführenden Angebote und Produkte liegt für den Stadtökologischen Leer-Pfad, den Trinkwasserlehrpfad Nethen und die Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz ein äußerst positives Evaluationsergebnis vor, weshalb diese die Pfadprodukte und -angebote als BNE-Potenziale aufweisen. Der Waldlehrpfad Syke, die Moorerlebnispfade Diepholz und Wedemark-Resse sowie der Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg zeigen lediglich ein befriedigendes Bewertungsbild. Grund hierfür sind die ausbleibenden Verweise auf die regionalen Produkte innerhalb des Lehrpfads. Dennoch stellen die Verweise auf weitere regionale Bildungsangebote für diese Lehrpfade ein BNE-Potenzial dar (Tab. 3).

Weginformationen stellt keiner der analysierten Lehrpfade in aller Gänze bereit, da die PfadbesucherInnen meist keine Informationen über die Sanitär- und Speiseeinrichtungen sowie ihre zeitliche Investition für die Pfadbegehung erhalten. Dementsprechend liegt für dieses Kriterium bei allen Lehrpfaden lediglich ein befriedigendes Evaluationsergebnis vor. Folglich legen die Lehrpfade den PfadbesucherInnen ausschließlich Informationen zu den Wegeigenschaften und den Pfadsehenswürdigkeiten dar. Diese sind zugleich die Potenziale der Informationsbereitstellung im Rahmen der BNE (Tab. 3).

Die nach KREIMER ET AL. 2011 bedeutende einheitliche mediale Pfadpräsentation (vgl. Kapitel 4) ist bei sieben von acht analysierten Lehrpfaden positiv zu bewerten und stellt ein weiteres Potenzial dar, das sich für die BNE nutzen lässt. Ausschließlich der Waldlehrpfad Syke schneidet mit seiner medial diffusen Pfadtypisierung negativ ab und weist dahingehend kaum BNE-Potenzial auf (Tab. 3).

5.3 Gestaltungspotenziale

Im Rahmen der Gestaltungsqualität berücksichtigen der Trinkwasserlehrpfad Nethen und der Walderlebnispfad Goslar alle Aspekte der Nutzerfreundlichkeit, womit ihre positive Bewertung einhergeht. Folglich besitzen sie im Hinblick auf die Pfaderreichbarkeit, die Orientierungs- und Wegleitsysteme, die Begleitinfrastruktur und die Wegeigenschaften BNE-Potenziale und weisen gegenüber den anderen Lehrpfaden ein herausragendes Nutzerpotenzial auf (Tab. 4).

Der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz büßt lediglich innerhalb der Begleitinfrastruktur das gastronomische Potenzial ein. Der Moorerlebnispfad Diepholz sowie der Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg verlieren darüber hinaus aufgrund mangelnder unmittelbar am Pfad gelegener sanitärer Einrichtungen innerhalb der Begleitinfrastruktur an BNE-Potenzial und weisen somit im Rahmen der Begleitinfrastruktur weniger BNE-Potenziale auf als der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz. Mit Blick auf den Moorerlebnispfad Wedemark-Resse fällt die Bewertung der Begleitinfrastruktur im Vergleich zu den zuvor aufgeführten Pfaden noch schlechter aus, da der Lehrpfad in Wedemark-Resse, bis auf die Anbindung an die Begleitinfrastruktur sowie die Park- und Rastplätze, die Aspekte der Begleitinfrastruktur

nicht berücksichtigt. Dementsprechend besitzt er ausschließlich bei der Erreichbarkeit, den Orientierungs- und Wegleitsystemen und den Wegeigenschaften Potenziale für die BNE. Im Gegensatz dazu besitzt der Stadtökologische Leer-Pfad, bis auf die teils berücksichtigte Wegbeschaffenheit, mit der Pfadeerreichbarkeit, den Orientierungs- und Wegleitsystemen, der Begleitinfrastruktur und den verbleibenden Wegeigenschaften, wie Länge, Breite und Steigung, BNE-Potenziale (Tab. 4).

Tab. 4: Die Gestaltungsqualität der Lehrpfade (● nicht ausreichend, ● befriedigend, ● gut) (eigene Darstellung).

Lehrpfade	Stadt-ökologischer Leer-Pfad	Wald-lehrpfad Syke	Trinkwasser-lehrpfad Nethen	Moorer-lebnis-pfad Diepholz	Boden- & Wurzel-pfad Bad Harzburg	Moorer-lebnis-pfad Wedemark-Resse	Walder-lebnis-pfad Goslar	Wald-Er-lebnis-Pfad Zweidorfer Holz
Kriterien								
Nutzerfreundlichkeit	●	-	●	●	●	●	●	●
pädagogische Aufbereitung	●	-	●	●	●	●	●	●
technische Aufbereitung	●	-	●	●	●	●	●	●

Eine gute Qualität der pädagogischen Aufbereitung verzeichnen alle analysierten Lehrpfade, mit Ausnahme der befriedigenden pädagogischen Aufbereitung des Moorerlebnispfads Wedemark-Resse, der die Einbettung ins Gesamtkonzept, das Corporate Design, die Themenpassung, die Zieltransparenz sowie das systemorientierte und selbstgesteuerte Lernen zwar aufnimmt, aber kaum eine Zielgruppen- und Umgebungspassung, keinen Spannungsbogen, kein problemlöse-, verständnis-, werte-, situations-, handlungs- und partizipationsorientiertes Lernen, kein forschend-entdeckendes, kein ganzheitliches Lernen und keine interaktiven Stationen verzeichnet. Besonders hervorzuheben ist die unter den analysierten Lehrpfaden herausragende pädagogische Aufbereitungsqualität des Wald-Erlebnis-Pfads Zweidorfer Holz, da dieser über alle Aspekte dieses Evaluationskriteriums verfügt. Für die anderen positiv bewerteten Lehrpfade ergeben sich Differenzen innerhalb ihrer pädagogischen Aufbereitung. Dementsprechend weist der Stadtökologische Leer-Pfad, unter Ausnahme der Zielgruppen- und Umgebungspassung, des forschenden Lernens, des handlungs- und partizipationsorientierten Lernens sowie der gut gestalteten Stationen, die anderen pädagogischen Aspekte als BNE-Potenziale auf. Gleiches gilt in Bezug auf die Zielgruppen- und Umgebungspassung für den Trinkwasserlehrpfad Nethen und den Boden- und Wurzelfpfad Bad Harzburg. Diese Pfade verweisen entweder allein vereinzelt direkt auf die Naturobjekte oder sprechen mit ihrer deskriptiven Wissensaufbereitung keine konkrete Zielgruppe an. Der Trinkwasserlehrpfad Nethen besitzt, unter Ausnahme der nicht in aller Gänze vorliegenden Integration der Zielgruppen- und Umgebungspassung, mit der positiven Bewertung der anderen pädagogischen Lehrpfadaspekte pädagogische Potenziale. Für den Boden- und Wurzelfpfad Bad Harzburg ergeben sich, bis auf die zuvor aufgeführte teilweise Zielgruppen- und Umgebungspassung, das ausbleibende forschend-entdeckende Lernen sowie das mangelnde handlungs- und partizipationsorientierte Lernen, die verbleibenden pädagogischen Aspekte als BNE-Potenziale (Tab. 4). Bei dem Moorerlebnispfad Diepholz lassen sich weniger BNE-Potenziale identifizieren, da der Spannungsbogen, die Passung der pädagogisch-didaktischen Aufbereitung mit der Zielgruppe und der Umgebung sowie das in Teilen mögliche situations-, handlungs- und partizipationsorientierte Lernen, das forschend-entdeckende sowie das ganzheitliche Lernen durch ausbleibende unmittelbare Naturerfahrungen kaum BNE-Potenziale bilden. Lediglich die pädagogischen Aspekte der Einbettung in ein Gesamtkonzept, des Corporate Designs, der Themenpassung, der Zieltransparenz sowie des system-, problemlöse-, verständnis- und werteorientierten Lernens, des selbstgesteuerten Lernens und der positiven Stationsgestaltung stellen Potenziale dar (Tab. 4). Im Vergleich zum Moorerlebnispfad Diepholz stimmt der

Walderlebnispfad Goslar die pädagogische Aufbereitung in Teilen auf die Pfadzielgruppe und -umgebung ab. Ebenso lassen sich innerhalb dieses Lehrpfads ausschließlich teils die Zieltransparenz und der Spannungsbogen erkennen. Überdies findet keine Einbettung des Pfads in ein Gesamtkonzept statt. Die Themenpassung, die im Kriterienkatalog aufgeführten Lernformen sowie die interaktive Stationsgestaltung finden Berücksichtigung und sind somit BNE-Potenziale (Tab. 4).

Die technische Aufbereitung stellt sich vor allem bei dem Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg und dem Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz äußerst positiv dar, weshalb diese Lehrpfade innerhalb der technischen Stationsaufbereitung mit der Besuchersicherheit, der Natur- und Landschaftsverträglichkeit der Stationsplatzierung/-gestaltung sowie der Wartung der Stationselemente Potenziale für die BNE schaffen. Für den Moorerlebnispfad Diepholz, den Trinkwasserlehrpfad Nethen und den Walderlebnispfad Goslar gelten identische Potenziale zu den zuvor Genannten. Im Gegensatz dazu ergibt sich für den Städtökologischen Leer-Pfad ein befriedigendes Evaluationsergebnis, da seine angeschragten Emaille-Tafeln nicht in Gänze über die gewünschte Witterungs- und Vandalismusrobustheit verfügen. Trotzdem besteht bei diesem das Potenzial der Besuchersicherheit. Die Wartung der technischen Stationselemente des Städtökologischen Leer-Pfads ist wie bei dem Moorerlebnispfad Wedemark-Resse, der ansonsten über die Potenziale der natur- und landschaftsverträglichen Stationsplatzierung/-gestaltung und der Stationswartung verfügt, aufgrund mangelnder technischer Pfadelemente nicht beurteilbar (Tab. 4).

5.4 Lehrpfade mit den größten BNE-Potenzialen

Aus der Analyse ergibt sich ein Ranking, das die Lehrpfade mit den meisten BNE-Potenzialen abbildet.

Tab. 5: Niedersachsenranking der drei Lehrpfade mit den größten BNE-Potenzialen des Jahres 2019 (N = 8) (eigene Darstellung).

Rang	Lehrpfade im Jahr 2019
1	Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz
2	Trinkwasserlehrpfad Nethen
3	Walderlebnispfad Goslar

Für das Ranking erfolgt ein Rückgriff auf die unterste Differenzierungsebene (Aspekte der einzelnen BNE-Kriterien), wobei auf dieser Ebene der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz und der Trinkwasserlehrpfad Nethen in Bezug auf ihre BNE-Potenziale zunächst identisch ausfallen. Aufgrund der hohen Gewichtung der Gestaltungsqualität (vgl. Kapitel 3.3), die sich bei dem Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz (volle Punktzahl) gegenüber dem Trinkwasserlehrpfad Nethen herausragend darstellt, besetzt der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz den ersten Rankingplatz. Darauf folgt der Trinkwasserlehrpfad Nethen auf dem zweiten Platz und der Walderlebnispfad Goslar auf dem dritten Platz (Tab. 5).

Im Hinblick auf die Inhaltsqualität verfügen die drei Pfade mit standörtlichen Gegebenheiten, Themenpotenzial, Informationsgehalt und Inhalt-Umgebungs-Bezug herausragende BNE-Potenziale. Allerdings ist das Themenpotenzial bei dem Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz und dem Walderlebnispfad Goslar um den Aspekt der Themenrelevanz eingeschränkt. Der Walderlebnispfad Goslar geht überdies von keiner wirklichkeitsnahen Situation als thematischen Ausgangspunkt aus (vgl. Kapitel 5.1). Darüber hinaus besitzen alle drei Lehrpfade, bis auf den teilweisen Gebrauch von Fachbegriffen zu Ungunsten der sprachlichen Einfachheit, Potenziale in Bezug auf den Informationsgehalt. Diese Potenziale sind bei dem Trinkwasserlehrpfad Nethen und dem Walderlebnispfad Goslar um die befriedigende didaktische

Inhaltsreduktion begrenzt. Zusätzlich wirkt bei dem Walderlebnispfad Goslar eine mangelnde Text-Bild-Passung zu Ungunsten der Anschaulichkeit der Pfadinhalte (vgl. Kapitel 5.1).

Mit Blick auf die Qualität der Betreuung und der Synergien bieten die Wartung, die Betreuung, die weiterführenden Angebote, die regionalen Produkte und die einheitliche mediale Pfadpräsentation Potenziale für die BNE. Dagegen liegen bei den Lehrpfaden des Rankings differente Ausprägungen zur Bereitstellung von Weginformationen vor. Dementsprechend hält der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz den PfadbesucherInnen Informationen zu den Wegeigenschaften, zum Zeitaufwand für den Pfad, zu den Pfadsehenswürdigkeiten und zu den Sanitäreinrichtungen bereit, wobei Informationen zu den Speisemöglichkeiten ausbleiben. Der Trinkwasserlehrpfad Nethen und der Walderlebnispfad Goslar geben den PfadbesucherInnen keinerlei Auskunft über die Gastronomie, die Sanitäreinrichtungen und über den temporalen Aufwand für die Pfadbegehung (vgl. Kapitel 5.2).

Weiterhin weist der Trinkwasserlehrpfad Nethen aufgrund seiner allein befriedigenden Passung der didaktisch-pädagogischen Aufbereitung mit der Pfadumgebung und der Pfadzielgruppe weniger BNE-Potenziale auf als der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz, dessen Gestaltungspotenziale allein durch die fehlende Gastronomie der Begleitinfrastruktur begrenzt sind. Der Walderlebnispfad Goslar schneidet im Hinblick auf das Gestaltungspotenzial bei der pädagogischen Aufbereitung am schlechtesten unter den drei Lehrpfaden ab, da keine Einbettung in ein Gesamtkonzept vorliegt und kein typischer Spannungsbogen innerhalb des Lehrpfads existiert. Allerdings sind das teils vorhandene Corporate Design sowie die teils berücksichtigte Zielgruppen- und Umgebungspassung BNE-Potenziale. Überdies kann bei dem Walderlebnispfad aufgrund von Handlungsintentionen an den Pfadstationen von dem Potenzial der Zieltransparenz gesprochen werden (vgl. Kapitel 5.3). In der technischen Aufbereitung der Pfadgestaltung bestehen keinerlei Differenzen zwischen den drei Lehrpfaden (vgl. Kapitel 5.3).

6. Fazit

Alles in allem stellt die Studie die 426 erfassten Lehrpfade als trendige informelle Bildungsinstrumente für Niedersachsen heraus (vgl. Kapitel 4). Mit dem Anspruch der lückenlosen Erfassung des niedersächsischen Lehrpfadbestands sowie einem weiter gefassten Lehrpfadverständnis (vgl. Kapitel 2) würde der Lehrpfadbestand höher als in dieser Studie ausfallen (vgl. Kapitel 3.1).

Neben der Bestandsaufnahme steht die räumliche Verortung der Lehrpfade (vgl. Kapitel 1), die zwar mit den regionalen Pfadansammlungen in peripheren Räumen außer- und innerhalb von Großschutzgebieten die These der Lehrpfadballungsräume in Großschutzgebieten bestätigt (vgl. Kapitel 3.2), jedoch ebenso vereinzelt Ballungen im Stadtzentrum oder in Stadtnähe, unter anderem mit den stadt- und dorfökologischen Lehrpfaden, zeigt (vgl. Kapitel 4.1). Vor allem in den Landkreisen Göttingen, Goslar, Osnabrück, Lüchow-Dannenberg und Gifhorn sowie der Region Hannover liegen größere periphere Lehrpfadballungen vor (vgl. Kapitel 4.1). Die Pfadballungen in Großschutzgebieten konzentrieren sich entweder auf die gesamte Schutzgebietsfläche, wie im Natur- und Geopark TERRA.VITA, oder auf spezifische Bereiche innerhalb des Großschutzgebiets, unter anderem im Nordwesten und im Osten des Biosphärenreservats Niedersächsische Elbtalaue (vgl. Kapitel 4.1). Demgegenüber existieren Naturparkräume mit geringen Lehrpfaddichten, die sich aufgrund von naturräumlichen Alleinstellungsmerkmalen, unter anderem im Naturpark Bourtanger Moor – Bargerveen, für weitere Lehrpfaderrichtungen anbieten. Hinzu kommen von Lehrpfaden freie oder dünn besiedelte geographische Räume innerhalb der Landkreise, die aufgrund ihrer einmaligen Standortgegebenheiten Handlungsräume zur Lehrpfaderrichtung hervorbringen (vgl. Kapitel 4.1).

Mit Bezug auf das Ziel der Systematisierung des undurchsichtigen Lehrpfaddickichts bestätigte sich das Übergewicht an klassischen Lehrpfaden. Allerdings konnte dies auf Landkreisebene durch landkreis-

spezifische Ausnahmen mit größerem oder vergleichbarem Anteil an Erlebnis- und Naturerlebnispfaden gegenüber den klassischen Lehrpfaden für vereinzelte Landkreise widerlegt werden (vgl. Kapitel 3.2 & 4.2). Somit verwundert vor dem Hintergrund des Überhangs an klassischen Lehrpfaden die Bestätigung der Prävalenz der deskriptiven Wissensvermittlung für die niedersächsischen Lehrpfade nicht (vgl. Kapitel 3.2 & 4.3). Außerdem konnte die These der Dominanz der Natur-, Wald-, Forst- und Moorthematiken durch den großen Anteil an botanischen und zoologischen Thematiken am Gesamtlehrpfadbestand widerlegt werden (vgl. Kapitel 3.2 & 4.4).

Des Weiteren intendiert die Studie die Darstellung des Maßes an BNE-Potenzialen von ausgewählten Lehrpfaden (vgl. Kapitel 1). Das Maß kristallisiert sich jedoch erst auf der untersten Differenzierungsebene der Qualitätskriterien heraus (vgl. Kapitel 3.3). Auf dieser Ebene weisen alle Lehrpfade Standort- und Themenpotenziale auf. Letztere variieren bei den Moorerlebnispfaden Diepholz und Wedemark-Resse, den Walderlebnispfaden Goslar und Zweidorfer Holz und dem Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg um die Themenrelevanz, den realitätsnahen Themenausgangspunkt oder das Handlungspotenzial. Der Stadtökologische Leer-Pfad und der Trinkwasserlehrpfad Nethen weisen entgegen dem Waldlehrpfad Syke, der mangelndes Themen- und Inhaltspotenzial verzeichnet, herausragende thematische Potenziale auf (vgl. Kapitel 5.1). Der Trinkwasserlehrpfad Nethen sowie die Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz beschränken ihr Informationspotenzial durch die sprachliche Komplexität in ihren Stationstexten, wobei der Trinkwasserlehrpfad Nethen und der Walderlebnispfad Goslar ebenfalls ausschließlich in Teilen über das Potenzial der didaktischen Inhaltsreduktion verfügen. Der Walderlebnispfad Goslar und die anderen Lehrpfade unterscheiden sich von dem Wald-Erlebnispfad Zweidorfer Holz zusätzlich um die Korrektheit, die Aktualität und die Prägnanz/Anschaulichkeit der Inhalte, den innovativen Wissenserwerb und teils um die Zielgruppenpassung (vgl. Kapitel 5.1). Den Lehrpfaden gemein ist die Potenzialschwäche der sprachlichen Komplexität, die überarbeitungsbedürftig erscheint. Wiederum Potenzial besitzen die Lehrpfade in ihrer Themen-Umwelt-Passung, die für den Stadtökologischen Leer-Pfad, den Waldlehrpfad Syke und den Moorerlebnispfad Diepholz eingeschränkt gilt (vgl. Kapitel 5.1).

In puncto Betreuung und Synergien besitzen die Lehrpfade, bis auf den Stadtökologischen Leer-Pfad, die Potenziale der Pfadinfrastrukturwartung sowie -betreuung. Bei dem Waldlehrpfad Syke und dem Moorerlebnispfad Diepholz liegen diese Potenziale lediglich stationsspezifisch vor. Im Gegensatz dazu verfügen alle Lehrpfade über das Potenzial der weiterführenden Bildungsangebote, wohingegen Verweise auf die regionalen Produkte allein der Stadtökologische Leer-Pfad, der Trinkwasserlehrpfad Nethen sowie die Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz vornehmen. Zusätzlich erfolgt bei den jeweiligen Lehrpfaden, unter Ausnahme des Waldlehrpfads Syke, die einheitliche mediale Pfadpräsentation. Zudem besitzen die Lehrpfade mit den Wegeigenschaften und den Pfadsehenswürdigkeiten Potenziale zur Bereitstellung von Weginformationen, obwohl sie bei den Ausführungen zu gastronomischen und sanitären Einrichtungen Ergänzungsbedarf für die Informationsbereitstellung aufzeigen (vgl. Kapitel 5.2).

Die Gestaltungsqualität liegt mit Ausnahme des Trinkwasserlehrpfads Nethen und des Walderlebnispfads Goslar mit dem Potenzial der Begleitinfrastruktur (Gastronomie, sanitäre Einrichtungen oder Park- und Rastplätze) bei den anderen Lehrpfaden begrenzt vor. Darüber hinaus bietet der Stadtökologische Leer-Pfad im Bereich der Nutzerfreundlichkeit mehr Potenziale als in den anderen Lehrpfadqualitätsbereichen (vgl. Kapitel 5.2). Im Hinblick auf die bedeutsame pädagogische Aufbereitung zeigt der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz mit den didaktischen Prinzipien, der Zielgruppenorientierung, der Pfadintention, den Lernformen und der Stationsgestaltung herausragende BNE-Potenziale. Der Trinkwasserlehrpfad Nethen und der Walderlebnispfad Goslar büßen die geringe Zielgruppenpassung sowie die in Teilen berücksichtigte Pfadintention und Umgebungspassung als Potenziale ein. Dagegen berücksichtigt der Moorerlebnispfad Diepholz teils die Lernformen und die didaktischen Prinzipien und

weist lediglich mit seinem Anschluss an ein Gesamtkonzept, dem Corporate Design, der Themenpassung, der Zieltransparenz und der Stationsgestaltung BNE-Potenziale auf. Der Moorerlebnispfad Wedemark-Resse verfügt über ein geringeres Potenzial bezüglich der Lernformen und der Stationsgestaltung als der Diepholzer Pfad. Demgegenüber stehen die herausragenden Lernform- und Stationsgestaltungspotenziale bei dem Walderlebnispfad Goslar. Allerdings fehlt bei diesem Pfad die Einbindung in ein Gesamtkonzept. Die Zielgruppen- und Umgebungspassung, die Pfadintention und der Pfadspannungsbogen werden ebenso ausschließlich teils berücksichtigt. Der Stadtökologische Leer-Pfad besitzt kaum Potenzial in Bezug auf seine Passung der pädagogischen Pfadaufbereitung mit der Pfadzielgruppe und -umgebung. Dennoch verfügt der Leer-Pfad über mehr Potenziale im Hinblick auf die Lernformen als die Moorerlebnispfade Diepholz und Wedemark-Resse. Der Boden- und Wurzelpfad Bad Harzburg eröffnet, bis auf die teils berücksichtigte Zielgruppen- und Umgebungspassung sowie die unberücksichtigten Lernformen des forschend-entdeckenden Lernens sowie des handlungs- und partizipationsorientierten Lernens, mit den didaktischen Prinzipien, den verbleibenden Lernformen und der Stationsgestaltung BNE-Potenziale. Innerhalb der technischen Pfadaufbereitung stellen die Besuchersicherheit, die Natur- und Landschaftsverträglichkeit der Stationen und die Wartung technischer Stationselemente BNE-Potenziale dar. Das geringste Potenzial innerhalb der technischen Pfadaufbereitung besitzt mit einer geringen Tafelrobustheit gegenüber Witterung und Vandalismus der Stadtökologische Leer-Pfad (vgl. Kapitel 5.3).

Aus diesen angeführten Potenzialen stellen sich die Walderlebnispfade Goslar und Zweidorfer Holz sowie der Trinkwasserlehrpfad Nethen als die für die BNE potenzialreichsten Lehrpfade heraus, wobei der Wald-Erlebnis-Pfad Zweidorfer Holz mit seinen herausragenden pädagogischen Potenzialen, die ihn von den anderen Pfaden abgrenzen, als Beispiel guter Praxis zu identifizieren ist (vgl. Kapitel 5.4).

Über diese Erkenntnisse hinaus ergibt sich der methodische Kritikpunkt der subjektiven Prägung der Lehrpfadevaluationen, welcher sich mit dem angewandten „strengen“ Bewertungsstil begründet. Ein humanerer Bewertungsstil hätte eine positivere Gesamtevaluation sowie weitere BNE-Potenziale zur Folge.

7. Ausblick

An diese Methodenkritik schließen sich Forschungserkenntnisse, -anregungen sowie weiterführende Fragen an, die sich zunächst auf die niedersächsische Bestandsaufnahme und Systematisierung der Lehrpfade beziehen. Dementsprechend ist mit der Erfassung des Status quo der niedersächsischen Lehrpfade die partielle Entwicklung der Lehrpfadtypen und der Lehrpfadthemen zu hinterfragen, woran die Fragen nach den landkreisspezifischen Entwicklungsstadien und -gefallen sowie landkreisbezogenen Handlungsräumen anknüpfen. Mit der Beantwortung dieser Fragen wären thematische sowie pädagogisch-didaktische Optimierungsversuche der landkreisspezifischen Wegenetze möglich. Dies kann die Querschnittstudie nicht leisten, weshalb hierfür die Anlage einer Längsschnittstudie zielführend wäre. Die Lehrpfaderrichtungsdaten der Längsschnittstudie würden obendrein Rückschlüsse auf den räumlichen Ausgangspunkt der stadtnahen und städtischen Pfaderrichtungen zulassen (vgl. Kapitel 4.1).

Überdies stellt sich mit der Erkenntnis zu spezifischen Ballungsräumen von Lehrpfadtypen die Frage, ob Lehrpfadverantwortlichkeiten (Privatpersonen, Gemeinden, Vereine und TrägerInnen der Schutzgebiete) Einfluss auf partielle Pfaderrichtungen sowie auf Pfadballungen nehmen und somit das Lehrpfadbild eines Landkreises entscheidend prägen (vgl. EDER & ARNBERGER 2014:70). Zudem ist fraglich, ob die Errichtungstendenz von spezifischen Lehrpfadtypen in Abhängigkeit zu den Lehrpfadverantwortlichkeiten steht, um so Rückschlüsse auf homogene Lehrpfadgruppen mit identischen Kriterien zur Pfadkonzeption ziehen zu können.

Des Weiteren schafft der Transfer des für die qualitative BNE-Analyse angewandten erweiterten Kriterienkatalogs nach KREIMER ET AL. 2011 auf andere Lehrpfade ein Sprungbrett für die Generalüberholung von klassischen Lehrpfaden in Niedersachsen (vgl. Kapitel 3.3). Dabei könnten die Qualitätsbereiche des Kriterienkatalogs (Inhalt, Gestaltung sowie Betreuung und Synergien) bereichsspezifische Handlungsalternativen für einzelne Lehrpfade aufzeigen. Diese Art der Lehrpfadüberarbeitung würde einen künftigen Wandel der didaktischen Lehrpfadkonzepte innerhalb der niedersächsischen Lehrpfadkultur vorantreiben, da mit dem in dieser Studie transferierbaren weiterentwickelten Qualitätskatalog zur Evaluation der BNE-Potenziale eines jeden Lehrpfads ein qualitativvolles Evaluationsinstrument für Lehrpfade entstanden ist. Zudem würde dieses Evaluationsinstrument Bewusstseinsprozesse der PfadbetreiberInnen in Bezug auf die Lehrpfadqualität anregen.

Außerdem zeigt die gegenwärtige Situation Lehrpfade mit vielfältigen BNE-Potenzialen, die sich in unterschiedlichen Qualitätsbereichen lokalisieren. Sie fungieren als nützliche Bildungsinstrumente für die BNE. PRÖBSTL-HAIDER (2014:18) betonte dies bereits vor fünf Jahren. In der Folge könnten diese Lehrpfade mit ihren herausragenden BNE-Potenzialen als Leitfaden für weitere Konzeptionen von Lehrpfaden mit BNE-Charakter dienen. Dennoch bleibt trotz der in der Theorie ausgezeichneten BNE-Potenziale des Wald-Erlebnis-Pfads Zweidorfer Holz kritisch zu hinterfragen, in welchem Maß diese tatsächlich zum Erwerb der Gestaltungskompetenz der PfadbesucherInnen beitragen. Dies untersuchen in Abhängigkeit von altersdifferenten Zielgruppen mit verschiedenster sozialer Milieuzugehörigkeit zwei weitere Teilstudien des Hildesheimer Forschungsprojekts *Lernwirksamkeit des informellen BNE-Bildungsinstruments Lehrpfad im Übergang zwischen Schule und Berufseinstieg*, für die diese Studie hinsichtlich des Untersuchungsgegenstands den Grundstein legt.

Literatur

- BIRKENHAUER, J. (1995): Außerschulische Lernorte. HGD-Symposium Benediktbeuern 1993. Geographiedidaktische Forschung 26. Nürnberg: Selbstverl. des Hochschulverbandes für Geographie und Didaktik.
- BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) (Hrsg.) (2019): Open Data – Freie Daten und Dienste des BKG. <www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_rahmen.gdz_div?gdz_spr=deu&gdz_akt_zeile=5&gdz_anz_zeile=1&gdz_unt_zeile=0&gdz_user_id=0> (Stand: 2019-06-05) (Zugriff: 2019-02-03).
- BLK (Bund-Länder-Kommission) (Hrsg.) (1998): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Orientierungsrahmen. Materialien zur Bildungsplanung und zur Forschungsförderung. Heft 69. <www.blk-bonn.de/papers/heft69.pdf> (Stand: 1998) (Zugriff: 2019-02-20).
- BORS DORF, A. (2007²): Geographisch denken und wissenschaftlich arbeiten. Eine Einführung in die Geographie und Studientechniken. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag.
- BUDEBERG, M. (2014): Zur Implementation des Konzepts Bildung für nachhaltige Entwicklung. Eine Studie an weiterführenden Schulen in Nordrhein-Westfalen. Empirische Erziehungswissenschaften 54. Münster; New York: Waxmann Verlag.
- BUDEBERG, M. (2016): Bildung für nachhaltige Entwicklung als Querschnittsaufgabe. – Die Deutsche Schule 108, 3, 267–277.
- CAMPBELL, B. & L. JONES (2013): The Living Earth. A feasibility study on a proposed GeoTrail for the Cradle Coast Region. Tasmania: Cradle Coast Regional Council.
- CRESWELL, J. W. & J. D. CRESWELL (2018⁵): Research Design. Qualitative, quantitative & mixed methods approaches. Los Angeles; London; New Delhi; Singapore; Washington DC; Melbourne: SAGE.

- DE HAAN, G. (2002): Die Kernthemen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. – Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik 25, 1, 13–20.
- DE HAAN, G. (2008): Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: BORMANN, I. & G. DE HAAN (Hrsg.): Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 23–43.
- DORLING, D. (2010): Using Statistics to Describe and Explore Data. In: CLIFFORD, N., FRENCH, S. & G. VALENTINE (eds.): Key Methods in Geography. Los Angeles; London; New Delhi; Singapore; Washington DC: SAGE, 374–385.
- EBERS, S. (1998a): Geschichte der Naturlehrpfade. In: EBERS, S., LAUX, L. & H.-M. KOCHANER (Hrsg.): Vom Lehrpfad zum Erlebnispfad. Handbuch für Naturerlebnispfade. Wetzlar: NZH-Verlag, 10–29.
- EBERS, S. (1998b): Effektive Methoden der Umweltbildung. In: EBERS, S., LAUX, L. & H.-M. KOCHANER (Hrsg.): Vom Lehrpfad zum Erlebnispfad. Handbuch für Naturerlebnispfade. Wetzlar: NZH-Verlag, 30–35.
- EBERS, S. (1998c) Es wird konkret: Planung eines Naturerlebnispfads. In: EBERS, S., LAUX, L. & H.-M. KOCHANER (Hrsg.): Vom Lehrpfad zum Erlebnispfad. Handbuch für Naturerlebnispfade. Wetzlar: NZH-Verlag, 36–47.
- EDER, R. & A. ARNBERGER (2007a): Lehrpfade – Natur und Kultur auf dem Weg. Lehrpfade, Erlebnis- und Themenwege in Österreich. Grüne Reihe des Lebensministeriums 18. Wien: Böhlau.
- EDER, R. & A. ARNBERGER (2007b): Geologie am Weg – Anregungen zur Gestaltung von Geotrails. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): 11. Internationale Jahrestagung der Fachsektion GeoTop der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften Wien. 11. – 16. Juni 2007. Wien: Geologische Bundesanstalt, 29–34. <https://www.zobodat.at/pdf/AbhGeolBA_60_0029-0034.pdf> (Stand: 2007-07-16) (Zugriff: 2019-02-10).
- EDER, R. & A. ARNBERGER (2014): Themenwege als Instrumente für eine Bildung für nachhaltige Entwicklung? In: VNÖ (Verband der Naturparke Österreichs) (Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung in Naturparks. Graz: lebensministerium.at, 70–76. <<https://www.google.com/search?q=Bildung+f%C3%BCr+nachhaltige+Entwicklung+in+Naturparke+2014+Verband+der+Naturparke+%C3%96sterreichs&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab#>> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-05).
- FREERICKS, R. (2015): Erlebnisswelten als inszenierte erlebnisorientierte Lernorte der Wissensgesellschaft. In: FREERICKS, R. & D. BRINKMANN (Hrsg.): Handbuch Freizeitsoziologie. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 671–698.
- GOTZMANN, I. & M. HOFF (2010): Wege zu Natur und Kulturlandschaft – Ein Leitfaden. In: BUND HEIMAT UND UMWELT IN DEUTSCHLAND (Hrsg.): Wege zu Natur und Kultur. Leitfaden zur Erstellung interdisziplinärer Wege zu Kultur- und Naturschutzthemen. Bonn: Bund Heimat und Umwelt, 29–57. <<https://www.martina-hoff.de/uploads/media>> (Stand: 2010) (Zugriff: 2019-02-11).
- HAM, S. (1992): Environmental Interpretation – A Practical Guide for People with Big Ideas and Small Budgets. Colorado: Golden.
- HARRING, M., WITTE, M. D. & T. BURGER (2018²): Informelles Lernen – Eine Einführung. In: HARRING, M., WITTE, M. D. & T. BURGER (Hrsg.): Handbuch informelles Lernen. Interdisziplinäre und internationale Perspektiven. Weinheim; Basel: Beltz Juventa, 12–27.
- HEDWIG, R. (1993): Der Naturlehrpfad. Ziele, Themen, Inhalte. Wetzlar: Naturschutz-Zentrum Hessen.

- HEIMERL, W. (2002): Qualitätskriterien für Lehrpfade und Wanderwege. Wien: Österreichischer Universitätslehrgang für Tourismuswirtschaft an der Wirtschaftsuniversität. <[www.wanderexperte.at/Professionell/Qualitätskriterien für Lehrpfade und Wanderwege.pdf](http://www.wanderexperte.at/Professionell/Qualitätskriterien_für_Lehrpfade_und_Wanderwege.pdf)> (Stand: 2002-04) (Zugriff: 2019-02-10).
- HEY, B. (1984): Der historische Lehrpfad. – Freizeitpädagogik «1984» 1–2, 81–87.
- JUNGMEIER, M. & D. ZOLLNER (2002): Themenwege in Kärnten – Inventar und Zertifizierung. Studie im Auftrag des Amtes der Kärntner Landesregierung. Klagenfurt: E.C.O Institut für Ökologie. <https://e-c-o.at/files/publications/downloads/2002_L01842.pdf> (Stand: 2002) (Zugriff: 2019-02-15).
- KEHREN, Y. (2016): Bildung für nachhaltige Entwicklung. Zur Kritik eines pädagogischen Programms. HORIZONTE – Studien Kritische Pädagogik 5. Baltmannsweiler; Hohengehren: Schneider Verlag.
- KELLE, U. (2019²): Mixed Methods. In: BAUR, N. & J. BLASIUS (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer VS, 159–172.
- KIESELSTEIN, M. (2018): Vom Lehrpfad zum Lernpfad – Eine Neukonzeption des Lehrpfads Hagenburger Moorgarten. Masterarbeit, Universität Hildesheim <https://hilkat.uni-hildesheim.de/vufind/Record/1041162111> (Stand: 2018) (Zugriff: 2019-06-17).
- KILLERMANN, W. (2000): Ganzheitliche Naturschutz- und Umwelterziehung. – Berichte der ANL 24, 21–26.
- KISSER, T. (2014): Außerunterrichtliche Lernorte: Die (Weiter-)Entwicklung von Lernpfaden zu einem Netz von Geopunkten mit Hilfe der Geocache-Methode. Empirische Untersuchung zur Exkursionsdidaktik. Diss. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- KOVAROVICS, A. & M. JUNGMEIER (2016): Qualität von Themenwegen in Schutzgebieten am Beispiel Österreichs. Status quo und Perspektiven. – Naturschutz und Landschaftsplanung 48, 3, 80–86.
- KREIMER, E., KIRCHMEIR, H. & M. JUNGMEIER (2011): Qualitätssicherung von Themenwegen. Kriterien für Themenwege und Tipps für Wegehalter. Klagenfurt: E.C.O. Institut für Ökologie.
- KREJCAREK, M. (2000): Umweltbildung. In: LANG, C. & W. STARK (Hrsg.): Schritt für Schritt. NaturErleben. Ein Wegweiser zu Einrichtung moderner Lehrpfade und Erlebniswege. Wien: Forum Umweltbildung, 25–29.
- KREMB, K. (2003): Lehrpfade – Lernen in der Natur. In: LEIBNIZ-INSTITUT FÜR LÄNDERKUNDE (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland 3. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 148f. <archiv.nationalatlas.de/wp-content/art_pdf/Band3_148-149_archiv.pdf> (Stand: 2003) (Zugriff: 2019-02-16).
- LAN (Leader Aktionsgruppe Nordschwarzwald) (2015): Qualitätskriterien für die virtuellen Themenwege im Nordschwarzwald. <www.interpret-europe.net/fileadmin/Documents/projects/vt/Kriterien-VT2012-09-26a.pdf> (Stand: 2012-09-26) (Zugriff: 2019-03-02).
- LANG, C. & W. STARK (2000): Schritt für Schritt NaturErleben. Ein Wegweiser zur Einrichtung moderner Lehrpfade und Erlebniswege. Wien: Forum Umweltbildung.
- LANGENHORST, B. (2016): Wildnisbildung und nachhaltige Entwicklung. Theorie, Praxis und Evaluation am Beispiel des Projekts „Waldscout – Wildnisexpedition“. Bildung für nachhaltige Entwicklung 8. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- LANGER, I., SCHULZ VON THUN, F. & R. TAUSCH (2015¹⁰): Sich verständlich ausdrücken. München; Basel: Ernst Reinhardt Verlag.

- LEHNES, P. (2006): Handbuch Lehr-, Erlebnis- und Themenpfade. Ein Leitfaden für Kommunen, Natur-, Kultur- und Heimatvereine, Verbände und touristische Entscheidungsträger. Feldberg i. Schw.: Haus der Natur.
- LEHNES, P. (2008): Natur- und Kulturerbe fasziniert, wenn es wirkungsvoll in Szene gesetzt wird. In: EDER, R. & A. ARNBERGER (Hrsg.): Tagungsband. Auf den Pfaden von Natur und Kultur. Wodurch werden Lehrpfade, Themen- und Erlebniswege zu attraktiven Destinationen? Wien: Universität für Bodenkultur, 19–28. <www.interpret-europe.net/fileadmin/news_import/Lehnes2008-wien.pdf> (Stand: 2008-04-25) (Zugriff: 2019-04-02).
- LESER, H. (2005¹³): Diercke. Wörterbuch Allgemeine Geographie. München; Braunschweig: Deutscher Taschenbuch Verlag; Westermann Schulbuchverlag.
- LEWIS, J. W. (2011): Interpreting for Park Visitors. Eastern National. Pennsylvania: Fort Washington.
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2008): Lehrpfade und Lehrgärten. Arbeitsmaterialien Agenda-Büro Nr. 47. Karlsruhe: LUBW. <<https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/11176/>> (Stand: 2008-09) (Zugriff: 2019-02-11).
- LUCKER, T. & O. KÖLSCH (2009): Bildung für nachhaltige Entwicklung in außerschulischen Lernorten. In: BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (Hrsg.): Naturschutz und Bildung für nachhaltige Entwicklung. Fokus: Außerschulische Lernorte. Ergebnisse des F+E-Vorhabens "Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) – Positionierung des Naturschutzes". Naturschutz und biologische Vielfalt 74. Bonn; Bad-Godesberg: Bundesamt für Naturschutz, 15–58.
- LUDWIG, T. (2014): Schlüsselphänomene einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: VNÖ (Verband der Naturparke Österreichs) (Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung in Naturparks. Graz: lebensministerium.at, 32–53. <<https://www.google.com/search?q=Bildung+f%C3%BCr+nachhaltige+Entwicklung+in+Naturparke+2014+Verband+der+Naturparke+%C3%96sterreichs&ie=utf-8&oe=utf8&client=firefox-b-ab#>> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-15).
- MAACK, L. (2018): Hürden einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Akteurinnen und Akteure zwischen Immanenz und Reflexivität. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag.
- MEGERLE, H. (2003): Naturerlebnispfade – Neue Medien der Umweltbildung und des landschaftsbezogenen Tourismus? Bestandsanalyse, Evaluation und Entwicklung von Qualitätsstandards. Tübinger Geographische Studien 124. Tübingen: Geographische Institut der Universität Tübingen.
- MEGERLE, H. (2006): Konzeptionelle Möglichkeiten zur touristischen Inwertsetzung und zur methodisch-didaktischen Vermittlung von Geopotenzialen. In: MEGERLE, H. (Hrsg.): Geotourismus. Innovative Ansätze zur touristischen Inwertsetzung und nachhaltigen Regionalentwicklung. Geografie in Wissenschaft und Praxis 1. Rottenburg am Neckar: Wissenschaftlicher Verlag Marc Oliver Kersting, 91–161.
- MEGERLE, A. (2008²): Konzeptionelle Möglichkeiten zur touristischen Inwertsetzung und zur methodisch-didaktischen Vermittlung geotouristischer Potentiale – Geodidaktik. Medien und Module des Geotourismus. Lehr-, Entdeckungs- und Erlebnispfade. In: MEGERLE, H. (Hrsg.): Geotourismus, Innovative Ansätze zur touristischen Inwertsetzung und nachhaltigen Regionalentwicklung. Geographie in Wissenschaft und Praxis 1. Rottenburg am Neckar: Wissenschaftlicher Verlag Marc Oliver Kersting, 97–162.
- MEIER KRUKER, V. & J. RAUH (2005): Arbeitsmethoden der Humangeographie. Geowissen kompakt. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- MOCHMANN, E. (2019²): Quantitative Daten für die Sekundäranalyse. In: BAUR, N. & J. BLASIUS (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer VS, 259–270.

- MU (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz) (Hrsg.) (2017): Natürlich! 17 Nationale Naturlandschaften in Niedersachsen. – UMN-Magazin 2017. <https://www.umwelt.niedersachsen.de/themen/natur_landschaft/naturlandschaften/naturparke/natuerlich-niedersachsen-9031.html> (Stand: 2016-07) (Zugriff: 2019-02-03).
- NEEB, K. (2012): Geographische Exkursionen im Fokus empirischer Forschung. Analyse von Lernprozessen und Lernqualitäten kognitivistisch und konstruktivistisch konzeptionierter Schülerexkursionen. Diss. Universität Justus-Liebig-Universität Gießen.
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (Hrsg.) (2014): Bildung für nachhaltige Entwicklung in Niedersachsen. <https://www.nibis.de/uploads/nlq33-01/BNE-Broschre_2014.pdf> (Stand: 2014-01) (Zugriff: 2019-02-19).
- NUTZ, M. (2003): Lehr-, Lern- und Erlebnispfade zur Umweltbildung. Natur erkennen, erleben, erhalten. Hochschulpraxis – Erziehungswissenschaft 6. Hamburg: Reinhold Krämer Verlag.
- OTT, T. & P. TIEDEMANN (1999): Internet für Geographen. Eine praxisorientierte Einführung. Internet. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- PRÖBSTL-HAIDER, U. (2014): Umweltbildung in Naturparks: Grundlagen und neue Herausforderungen. In: VNÖ (Verband der Naturparke Österreichs) (Hrsg.): Bildung für nachhaltige Entwicklung in Naturparks. Graz: lebensministerium.at, 16–31. <<https://www.google.com/search?q=Bildung+f%C3%BCr+nachhaltige+Entwicklung+in+Naturparke+2014+Verband+der+Naturparke+%C3%96sterreichs&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab#>> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-15).
- REGION HANNOVER (Hrsg.) (2018): Naturpark Steinhuder Meer. Naturparkplan Steinhuder Meer. Band 1. <https://www.naturpark-steihuder-meer.de/.../naturparkplan_naturpark_steihuder_meer_pdf> (Stand: 2018-01) (Zugriff: 2019-02-13).
- RÖLL, K. (2007): Biologisch-politischer Unterricht und Bildung für Nachhaltigkeit. Eine empirische Studie über Wirkungen fächerverbindenden Unterrichts im Bereich der Umweltbildung. Didaktik in Forschung und Praxis 35. Hamburg: Verlag Dr. Kovač.
- SCHOLKMAN, A. (2016): Forschend-entdeckendes Lernen. (Wieder-)Entdeckung eines didaktischen Prinzips. In: BERENDT, B., FLEISCHMANN, A., SCHAPER, N., SZCZYRBA, B. & J. WILDT (Hrsg.): Neues Handbuch Hochschullehre A 3.17. Berlin: DUZ Verlags- und Medienhaus, 1–36.
- SCHRÖDER, A. (2006): Postmoderne Unübersichtlichkeit der Freizeit- und Lebensstile. Versuch einer Einordnung in die umgebenden Rahmenbedingungen sowie Implikationen für den zukünftigen Tourismus. In: REUBER, P. & P. SCHNELL (Hrsg.): Postmoderne Freizeitstile und Freizeiträume. Schriften zu Tourismus und Freizeit 5. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 107–117.
- SCHRÖTER, B., THALHEIM, K. & H. KOWALKE (2013): Geotourismus ohne Grenzen – Voraussetzungen und Umsetzungsvorschläge zur Einrichtung eines grenzüberschreitenden Geoparks im südöstlichen Osterzgebirge (Deutschland/Tschechische Republik). – GEOLOGICA SAXONICA. Journal of Central European Geology, 59, 227–242. <www.senckenberg.de/files/content/forschung/publikationen/geologicasaxonica/59/geologica-saxonica59_2012_schroeter.pdf> (Stand: 2013-09-12) (Zugriff: 2019-02-18).
- SIEKIERSKI, E. (2003): Evaluation. In: WOHLERS, L. (Hrsg.): Methoden informeller Umweltbildung. Umweltbildung, Umweltkommunikation und Nachhaltigkeit 13. Frankfurt am Main: Lang Verlag, 143–165.
- STADT SALZGITTER (Hrsg.) (2019): Geopfade in Lichtenberg und Salzgitter-Bad. <<https://www.salzgitter.de/stadtleben/kultur/stadtgeschichte/126010100000061278.php>> (Stand: 2019-01-10) (Zugriff: 2019-03-10).

- STANG, R. (2016): Lernwelten im Wandel. Entwicklungen und Anforderungen bei der Gestaltung. Berlin: Walter de Gruyter.
- STICHMANN, W. (1981): Medien im Gelände. Didaktische Kriterien zur Klassifizierung und zur pädagogischen Beurteilung von Lehrpfaden in Natur- und Nationalparks. In: STMELF (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (Hrsg.): 4. Tagungsbericht: Naturerleben, Naturerkenntnis, naturkundliche Bildung in Nationalparks und vergleichbaren Schutzgebieten. Schriftenreihe des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Grafenau: Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, 112–120.
- STRASDAS, W. (2017²): Einführung Nachhaltiger Tourismus. In: REIN, H. & W. STRASDAS (Hrsg.): Nachhaltiger Tourismus. Einführung. Konstanz; München: UVK Verlagsgesellschaft mbH, 13–44.
- SZEKERES, P. (2003): Lehrpfade. In: WOHLERS, L. (Hrsg.): Methoden informeller Umweltbildung. Umweltbildung, Umweltkommunikation und Nachhaltigkeit 13. Frankfurt am Main: Lang Verlag, 99–114.
- TOBIAS, K. (2018): Große Schutzgebiete in Deutschland – ein aktueller Überblick. In: WEBER, F., WEBER, F. & C. JENAL (Hrsg.): Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Arbeitsberichte der ARL 21. Wohin des Weges? Regionalentwicklung in Grossschutzgebieten. Hannover: Verlag der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 25–43.
- WAHL, D. (2006²): Lernumgebungen erfolgreich gestalten. Vom trägen Wissen zum kompetenten Handeln. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag.
- WELDT, D. (1965): Der Naturpfad – Anregungen und Vorschläge zum Bau eines Naturpfades. – Waldjugenddienst. Pädagogische Vierteljahresschrift für Schule und Jugendführer, 13, 1–3/65, 1–48.
- WOHLERS, L. (2003): Texte. In: WOHLERS, L. (Hrsg.): Methoden informeller Umweltbildung. Umweltbildung, Umweltkommunikation und Nachhaltigkeit 13. Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag, 85–98.
- WOHLERS, L. (2008): Informelle Umweltbildung in Urlaub und Freizeit. Beitrag aus der Veranstaltung „Nachhaltigkeit erleben – nachhaltige Erlebnisse: Perspektiven, Potenziale und Praxisbeispiele aus dem informellen Lernen“ vom 13. – 14. September 2007 im Camp Reinsehlen. – Mitteilungen aus der NNA 19, 1, 13–16.
- WOHLERS, L. (2015): Informelle Umweltbildung in deutschen Nationalparks – Potenzial, Bedeutung und Stand der Professionalisierung. In: FREERICKS, R. & D. BRINKMANN (Hrsg.): Handbuch Freizeitsoziologie. Wiesbaden: Springer VS, 699–722.
- ZENCHANKA, V. & S. ZENCHANKA (2018): Teacher's Competences in Sustainability During Lifelong Learning. In: FILHO, L. W., MIFSUD, M. & P. PACE (eds.): Handbook of Lifelong Learning for Sustainable Development. World Sustainability Series. Cham: Springer International Publishing AG, 19–28.
- ZIMMERLI, E. (1975): Freilandlabor Natur. Schulreservat, Schulweiher, Naturlehrpfad. Schaffung, Betreuung, Einsatz im Unterricht. Ein Leitfaden. Zürich: WWF Schweiz.
- ZOLLNER, D. & M. JUNGMEIER (2003): Bewandert werden – Themenwege in Kärnten. – Zoll 3, 7–11.

Anschrift der Autorin:

Michelle Kieselstein M.Ed.

michelle.kieselstein@uni-hildesheim.de

Universität Hildesheim

Institut für Geographie & Promotionskolleg Unterrichtsforschung

Universitätsplatz 1, D-31141 Hildesheim

Geoökologische Untersuchungen zur Immissionsbelastung des Stadtwaldes Eilenriede (Hannover)

Mischa Wittmar & Martin Sauerwein

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem Wirkungsgefüge aus anthropogenen NO_x-Einträgen in ein urbanes Wald-Ökosystem. Mittels einer dreigliedrigen Untersuchungsmethodik, die die Umweltmedien Boden, Luft und Biosphäre widerspiegelt, wird in dem Stadtwald Eilenriede (Hannover) untersucht, inwiefern eine Filter- und Senkenfunktion des Waldes messbar ist und welche negativen Rückkopplungen für den Wald bestehen. Zudem wird eine Ausdifferenzierung der unterschiedlichen Resilienzen von Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Stieleiche (*Quercus robur*) gegenüber NO_x getroffen. Hierfür wurden drei Untersuchungsflächen unter der Prämisse der Vergleichbarkeit in Artenzusammensetzung, Alter und Geländestruktur mit differenten Expositionen zum Verkehr ausgewählt. Die Ergebnisse zeigen, dass die verkehrsexponierten Untersuchungsbäume unter den gesteigerten NO_x-Einträgen eine herabgesetzte Resilienz aufweisen und deutlich empfindlicher auf weitere Umwelteinflüsse reagieren. Insbesondere die Stieleichenbestände reagieren nuancierter auf die zusätzlichen Stressoren. Zugleich ist ein Filtereffekt von bis zu 50 % und eine Senkenfunktion anhand aktuell ablaufender Versauerungsprozesse festgestellt worden.

Schlüsselwörter: Stadtökologie, Stadtwald, Immissionsbelastung, Hannover

Summary

The present study deals with the effects of anthropogenic NO_x inputs in an urban forest ecosystem. By means of a tripartite investigation methodology, which reflects the environmental media soil, air and biosphere, in the urban forest Eilenriede (Hanover) is examined to what extent a filter and sink function of the forest is measurable and which negative feedbacks exist for the forest. In addition, a differentiation of the different resilience of red beech (*Fagus sylvatica*) and pedunculate oak (*Quercus robur*) is made against NO_x. Three study sites were selected under the premise of comparability in species composition, age and terrain structure with different exposure to traffic. The results show that the traffic-exposed investigation trees have a reduced resilience under the increased NO_x inputs and react much more sensitively to other environmental influences. In particular, the pedunculate oak stands react more nuanced to the additional stressors. At the same time, a filter effect of up to 50% and a sink function have been determined on the basis of currently occurring acidification processes.

Keywords: Urban Ecology, Urban Forest, Immission Pollution, Hanover

1. Anlass und Zielsetzungen

Die Möglichkeit der Nutzung fossiler Energieträger löste in Europa nicht nur die Industrialisierung aus, sondern sorgte auch dafür, dass verstärkt Emissionen von C-, N- und S- enthaltenden Spurengasen in die Atmosphäre imitiert werden (BLIEFERT 2002:124). Insbesondere sind Schwefeldioxide (SO₂) und Stickstoffoxide (NO_x) über nasse, feuchte und trockene Deposition in die Ökosysteme eingetragen worden. Da Wälder eine erhöhte Interzeptionsrate gegenüber Freilandflächen aufweisen, konzentrieren sich S- und N-haltige Verbindungen besonders in Waldökosystemen. Der erhöhte Eintrag der Spurengase löste vielfältige boden- und vegetationsökologische Veränderungen aus, die sich negativ auf die

Umwelt auswirkten (ELLING et al. 2007:43f., SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:452f.). Die festgestellten immissionsbedingten Waldschäden lösten in den 60er Jahren bis in die 80er Jahre intensive Diskussion in Deutschland aus und mündeten in der Verordnung für Großfeuerungsanlagen im Jahr 1983. Die Verordnung sah vielfältige Maßnahmen zur Luftreinerhaltung, u.a. den Prozess der Nassentschwefelung, vor (ELLING et al. 2007:38 & 43).

In den Folgejahren sind Rückgänge der Sulfatschwefeleinträge und ein Anstieg der Boden-pH-Werte ermittelt worden. Beispielsweise ist im Solling unter den Kronen eines Fichtenbestandes ein Rückgang der Sulfatschwefeleinträge von 108 kg/ha auf 6,1 kg/ha gemessen worden. Zudem konnte der pH-Wert im Niederschlagswasser in Deutschland, der im Mittel von 5,7 kontinuierlich auf 4,1 oder in Form von Nebel auf < 3 ins stark saure Milieu übergegangen war, um 0,5 in das schwach saure Milieu zurückgeführt werden (NW-FVA 2017a:5, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:452). Die NO_x-Werte sind hingegen nur leicht gemindert worden. Die Emissionen aus Großfeuerungsanlagen wurden reduziert, aber die Einträge aus der Landwirtschaft und dem stetig ansteigenden Verkehrsaufkommen führten dazu, dass der anorganische Stickstoffeintrag, aktuell mit einem Anteil von 81–91 %, der Hauptinitiator der Gesamtsäurebelastung ist (ELLING et al. 2007:38,43, NW-FVA 2017a:5). Damit steht gegenwärtig die verkehrstragene Schadstoffbelastung, insbesondere NO_x, für Umwelt und Mensch im Fokus. Hinzu kommt, dass laut Waldzustandsbericht der NW-FVA (2017a:4) eine Zunahme der Verlichtungsraten der zwei Hauptlaubbaumarten, Rotbuche auf 24 % und Eiche auf 32 %, diagnostiziert worden ist. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung werden kleinräumige Bemessungen der verkehrstragen Emissionen durchgeführt und die Wirkung auf das Ökosystem Wald empirisch erfasst. Als Untersuchungsraum ist der Stadtwald Eilenriede in Hannover, als exponierter Standort für SO₂ und NO_x Emissionen, gewählt und drei Untersuchungsflächen angelegt worden (vgl. Abb. 1).

Folgende Zielsetzungen wurden entwickelt:

- Ist über die Umweltmedien Atmosphäre, Boden und Biosphäre eine Filter- und Senkenfunktion der Eilenriede identifizierbar?
- Ist auf den Untersuchungsflächen eine verkehrstragene Schadstoffbelastung messbar? Dazu werden für die Hauptbaumarten Rotbuche und Stieleiche Vitalitätsunterschiede untersucht.

2. Untersuchungsgebiet und geoökologische Rahmenbedingungen

Die Stadt Hannover liegt am Übergang zwischen der nordwestdeutschen Tiefebene und der Mittelgebirgsschwelle (KUES 1987:16, REGION HANNOVER 2013:13, STADT HANNOVER 2016:4f.). Die Region Hannover ist mit 1,12 Mio. Menschen auf 23.000 ha Fläche der am dichtesten besiedelte und wirtschaftlich stärkste Raum in Niedersachsen (REGION HANNOVER 2013:9 & 13). Innerhalb dieses Ballungsraums liegt östlich des Stadtzentrums die Eilenriede (vgl. Abb. 1).

Mit einer Ausdehnung von 635,92 ha ist die Eilenriede der größte innenstadtnahe Stadtwald Europas und untergliedert sich in zwei Forstsektionen (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:9, STADT HANNOVER 2016:4). Der Name „Eilenriede“ leitet sich von der Baumart Erle (*Alnus*) ab und gibt einen Hinweis auf die 600 jährige Entstehungsgeschichte des Stadtwaldes (STADT HANNOVER 2016:4). Die Erle bevorzugt feuchte Standorte und ist dementsprechend nach ELLENBERG et al. (2001:81) mit einer Feuchtezahl von 9 gekennzeichnet. Geomorphologisch liegt die mittelalterliche Stadt Hannover auf einer trockenen Rückenstruktur. Diese wird von den Senken des Leinetals und dem Standort der Eilenriede, dem Wietzeniederungsgebiet, umfasst. Der Standort ist gekennzeichnet durch weichselkaltzeitliche Talsandflächen und einen hohen Grundwassereinfluss. Hieraus resultieren die sumpfigen Standortbedingungen und die damaligen, idealen Wuchsbedingungen der Erle im Waldgebiet. Zudem blieb das Areal als Siedlungsgebiet sowie für die landwirtschaftliche Nutzung nur vermindert attraktiv. Die anthropogene Nutzung der Eilenriede bestand aus der Holzproduktion, Weidefunktion und der, von den Bürgern früh

erkannten, Erholungsfunktion des Waldes. Darüber hinaus kam der Eilenriede eine Schutz- und Zollfunktion zu, die noch heute an den Gräben und Wällen im Waldgebiet zu erkennen ist (DUTTMANN 1985:9f., STADT HANNOVER 2016:6 & 8). Die Nutzung der Eilenriede hat sich von der Sicherung der Grundbedürfnisse zu vielfältigen ökologischen und sozialen Funktionen gewandelt. Im Vordergrund steht der früh entdeckte Erholungswert der Eilenriede (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:4, SCHMIDT 2014:9).

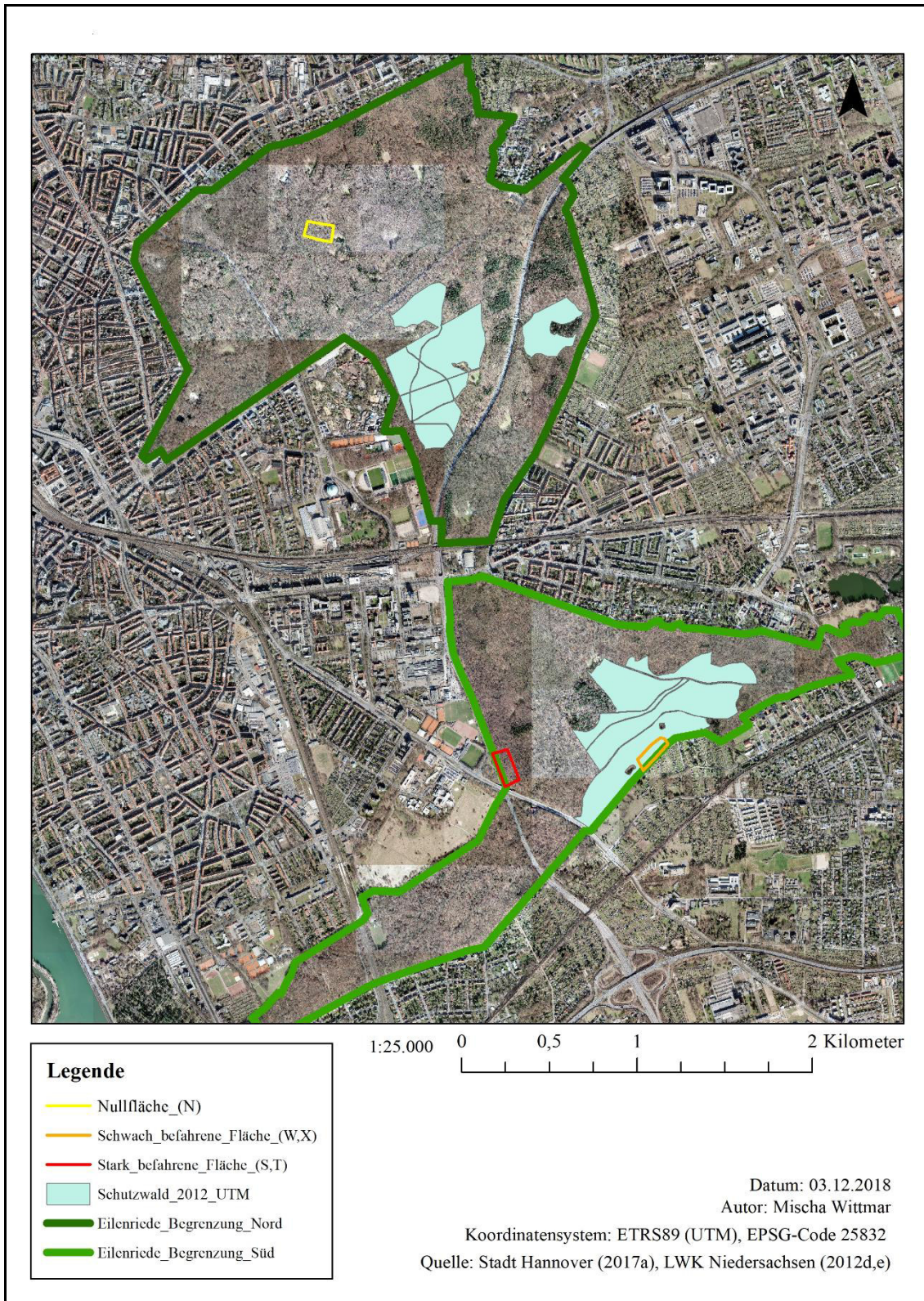


Abb. 1: Übersichtskarte der Eilenriede.

Die forstliche Ausdehnung und Ausstattung der Eilenriede unterlag einem stetigen Wandel. So ist um 1720 durch den Chronisten REDECKER in STADT HANNOVER (2016:23) vermerkt, dass die Wald- und Artenstruktur der Eilenriede einen deutlich feuchteren und lichterem Erlenwald als den heutigen bestehenden Laubwald beschreibt (vgl. Kap. 3.1; STADT HANNOVER 2016:13). Die gezielt geförderten Eichenbestände und Rotbuchennaturverjüngungen führen zu einer aktuellen Bestockung von 35,2 % Eiche, 25,7 % Rotbuche, 13,4 % andere Laubbäume mit hoher Lebenserwartung (Alh), 13,1 % andere Laubbäume mit niedriger Lebenserwartung (Aln) und 12,5 % Nadelgehölzen auf der gesamten Fläche der Eilenriede (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:11).

Die Fläche des nördlichen Teils der Eilenriede wurde hingegen seit dem Jahr 1300 kaum verändert. Im südlichen Teil der Eilenriede wurde die Gesamtfläche kontinuierlich erweitert. Entlang der Zuschlagsstraße erfolgten zwischen 1900 und 1930 Zuschläge bzw. Aufforstungen (DUTTMANN 1985:13). Trotz dieser Veränderungen ist die Eilenriede durch eine „ungewöhnliche Naturnähe“ gekennzeichnet (ELLENBERG in DUTTMANN (1985:2)). Die Stadt Hannover sichert unter dem Leitbild: „Erhaltung, Entwicklung vitaler, stabiler, starker von Eiche geprägter Laubholzbestände unter Berücksichtigung der Belange des Naturschutzes und der Verkehrssicherung“ (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:4) die Naturnähe der Eilenriede. Als weitere Maßnahmen zum Erhalt der natürlichen Prozesse ist eine Wertholzzucht mit Zielstärkennutzung unterbunden und 124,83 ha des Stadtwaldes als Schutzwald ausgewiesen. In diesem Teil dürfen, mit Ausnahme von Verkehrssicherungsmaßnahmen, keine Eingriffe mehr erfolgen (vgl. Abb. 1; LWK NIEDERSACHSEN 2012a:10).

Die **Bestandsstruktur der Nullfläche** setzt sich vorwiegend aus Stieleiche (*Quercus robur*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) mit Vergesellschaftungen aus Alh zusammen. Im Unterstand und Aufwuchs sind Hainbuchen (*Carpinus betulus*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) sowie Spitz- (*Acer platanoides*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) zu finden. Die Stieleiche nimmt dabei den größten Flächenanteil ein, wobei das Bestandsalter im Schnitt bei über 100 Jahren liegt (LWK NIEDERSACHSEN 2013b:66).

In der **Bestandsstruktur der verkehrsberuhigten Fläche** (STADT HANNOVER 2017a, LWK NIEDERSACHSEN 2012e) sind die Koordinaten der Bäume in der ersten Reihe die Stieleichen W1–5 und die Rotbuchen W1–5 sowie in der zweiten Reihe die Stieleichen X1–5 und Rotbuchen X1–4. Dieser Bereich gehört seit 2012 den Schutzwaldarealen der Eilenriede an (REGION HANNOVER 2013:666). Ähnlich der Nullfläche, setzt sich die verkehrsberuhigte Fläche hauptsächlich aus Stieleichen zusammen. Neben der Stieleiche folgen Rotbuche, Alh und Aln als Hauptbestand. Spitz-, Bergahorn, Esche (*Fraxinus excelsior*), Hainbuche, Winterlinde (*Tilia cordata*) und abermals die Rotbuche bilden den Unterstand und sind in Naturverjüngung wiederzufinden. Das Bestandsalter liegt im Schnitt bei über 100 Jahren (LWK NIEDERSACHSEN 2013c:29).

In der **Bestandsstruktur der stark befahrenen Fläche** (STADT HANNOVER 2017a, LWK NIEDERSACHSEN 2012e) sind die Koordinaten der Bäume der ersten Reihe S1–5 Stieleiche und S1–5 Rotbuche, und der zweiten Reihe T1–5 Stieleiche und T1–4 Rotbuche. Jede der drei Untersuchungsflächen wird hauptsächlich von 100 jähriger Eiche dominiert und ist somit generalisiert betrachtet mit einer sehr ähnlichen Bestandsstruktur wie die weiteren Untersuchungsflächen ausgestattet. Im Detail ist der Bestand der stark befahrenen Fläche zu annähernd gleichen Anteilen von Stieleichen und Rotbuchen dominiert und unterscheidet sich somit marginal von den anderen Flächen. Als Beimischung finden sich Alh, Aln und wenige Nadelgehölze, wie die Fichte (*Picea abies*) und Europäische Lärche (*Larix decidua*), im Hauptbestand wieder. Der Unterstand und die Naturverjüngung bestehen aus denselben Artzusammensetzungen wie in den vorab beschriebenen Flächen. Als einzige noch nicht aufgeführte Art ist die Eibe (*Taxus baccata*) zu ergänzen. Das Bestandsalter liegt im Durchschnitt bei etwas über 100 Jahren (LWK NIEDERSACHSEN 2013c:11).

Aus der allgemeinen Beschreibung und den Beständen der drei Untersuchungsflächen wird eine Korrelation zu den kartierten Hauptbiotoptypen in der Eilenriede deutlich. Diese sind (REGION HANNOVER 2013:51, 56 & 58, VON DRACHENFELS 2016:53, 59 & 61f.):

- (WMT) Mesophiler Buchenwald kalkärmerer Standorte des Tieflandes,
- (WCR) Eichen- und Hainbuchen-Mischwald feuchter, basenreicher Standorte in besonderer Ausprägung in der südlichen Eilenriede,
- (WCN) Eichen- und Hainbuchen-Mischwald nasser, basenreicher Standorte,
- (WQL) Eichen-Mischwald lehmiger, frischer Sandböden des Tieflandes.

Daraus ergibt sich ein Waldstandort, der von bodensauren und mesophilen Eichen-Mischwald- und Buchen-Gesellschaften mit z.T. feuchten Ausprägungen sowie abschnittsweise hohen Altholzanteilen dominiert wird (REGION HANNOVER 2013:508).

Zudem geht aus den Beschreibungen der unterschiedlichen Flächen eine ähnliche Ausprägung der Bestandsstruktur und der Hauptbaumarten Stieleiche sowie Rotbuche hervor. Die Stieleiche beziffert ELLENBERG et al. (2001:134) mit 7 in der Lichtzahl (L), 6 in Temperaturzahl (T), 6 in der Kontinentalitätszahl (K) und mit einem indifferenten Verhalten in Feuchtigkeit (F), Reaktionszahl (R) und Stickstoffzahl (N). Zudem ist die Stieleiche laut ELLENBERG (2001:134) nicht salzertragend. Zusammenfassend betrachtet ist die Stieleiche eine Baumart, die in den tieferen Lagen auf feuchten, lehmigen bis tonigen Böden vorkommt und in einem gewissen Maß tolerant gegenüber Klimaextremen ist. Erhöhte Ansprüche weist die Stieleiche bezüglich Nährstoffen und Licht auf (ELLENBERG 2001:134, ROLOFF 2001:105). Die Rotbuche ist nach ELLENBERG et al. (2001:105) mit 3 in L, 5 in T, 2 in K, 5 in F und mit einem indifferenten Verhalten in R und N gekennzeichnet. Wie die Stieleiche ist auch die Rotbuche nicht salzertragend. Die Dominanz büßt die Rotbuche nur bei extremen Standorten bezüglich Wasserhaushalt (sehr trockene und nasse Standorte) sowie bei sehr geringen pH-Werten ein (ELLENBERG et al. 2001:105, ROLOFF 2001:45).

Neben dem maßgeblichen Faktor des Grundwassereinflusses, ist die **Geologie** für die Bodenentwicklung in der Eilenriede ausschlaggebend. Die Stratigraphie der nördlichen Eilenriede ist hauptsächlich aus weichselkaltzeitlichen Talsandflächen der Leine-Wietze-Niederung aufgebaut. Petrographisch bestehen die Talsandflächen aus Mittel- und Feinsanden (KUES 1987:26, LBEG 2017:102,187, LBEG 2014:o.S.). Im südlichen Teil der Eilenriede zeigt sich die Geologie diverser. Entlang der B3 setzt sich die beschriebene Geologie der nördlichen Eilenriede fort und geht über in weichselzeitliche Schwemmfächerablagerungen. Diese setzen sich petrographisch aus verschwemmten Sanden aller Korngrößen und feinem Kies zusammen. Im südöstlichen Teil wird das Gebiet von Schiefertönen aus der Unterkreide unterlagert. Die Stratigraphie entlang der Zuschlagstraße ist aus Geschiebelehmen und -mergel aus dem Drenthestadium der Saalekaltzeit aufgebaut. Die Mittelterrasse der Grundmoräne setzt sich petrographisch vor allem aus Ton und Schluff zusammen (vgl. Abb. 1; KUES 1987:26, LBEG 2017:71, 102, 185, 187, 192 & 221, LBEG 2014:o.S.).

Die **Hauptbodentypen** der Eilenriede sind Podsole, Gleye und verschiedene Subtypen dieser Bodentypen. In der nördlichen Eilenriede variieren die genannten Bodentypen teilweise sehr stark auf kleinstem Raum. Bedingt wird dieses kleinräumige Bodenmosaik durch das Wirkungsgefüge zwischen Geologie, Geomorphologie und Grundwasser (STADT HANNOVER 2016:18). Die Niederung des Gebietes ist grundlegend durch Schmelzwasserabflüsse im Drenthestadium der Saalekaltzeit angelegt und im Quartär mit den Sanden und Kiesen des Weichselglazials eingeebnet worden (SPEIER & POTT 1999:282). Hervorgehend aus dem Sedimentierungsprozess, der über die Zeit variabel in der Intensität verlief, und der ehemaligen Formung als Niederung, sind eine wellig angelegte geologische Schichtung und ein durchschnittlicher Höhenunterschied von einem Meter in der Eilenriede festzustellen. Je nach Schichtenverlauf und Potenzial als Grundwasserleiter treten oberflächennah unterschiedliche Feuchtigkeits- und Nährstoffpotenziale auf und beeinflussen die Bodenbildung beträchtlich (KUES

1987:28, SPEIER & POTT 1999:282, STADT HANNOVER 2016:18). Die südliche Eilenriede setzt sich aufgrund des hauptsächlich sandigen bis kiesigen Ausgangssubstrats aus tiefgründigen Podsolen und im Bereich des Geschiebelehm und -mergel aus flachen Gleyen bis Pseudogleyen zusammen (vgl. Abb. 6 & 5; KUES 1987:26).

Die Stieleichen und Rotbuchen im Bereich der **Nullfläche** stocken auf einem tiefen Braunerde-Gley. Anhand der Geologie kann auf eine eher basenarme Braunerde bzw. saure Braunerde geschlossen werden. Aus der Klasse der hydromorphen Böden stammt der Gley, der als Vergesellschaftungsform identifiziert ist. Allerdings ist durch das Einwirken grundwassersenkender Maßnahmen eine beträchtliche Schwankung des Grundwasserspiegels von 1,5–2 m festgestellt worden (DUTTMANN 1985:36, LBEG 2014:o.S). Ausgehend von der Qualität der bodenbildenden Substrate ist die Nährstoffausstattung als ausreichend zu klassifizieren (REHFUESS 1990:37f.). Durch den vom Kronsberg kommenden, carbonathaltigen Grundwasserstrom wird die Ausstattung an Nährstoffen jedoch deutlich aufgebessert und ist für die gesamte Eilenriede als maßgeblicher Nährstoffgeber zu konstatieren (DUTTMANN 1985:33).

Im Bereich der **verkehrsberuhigten Fläche** ist eine Vergesellschaftung aus tiefem Braunerde-Pseudogley identifiziert worden. Der Pseudogley ist stärker durch die natürlichen Schwankungen des Wasserhaushaltes gekennzeichnet und gilt im Vergleich zum Gley als weniger grundwasser- sondern stauwasserbeeinflusst (Ad-hoc-AG BODEN 2005:226, REHFUESS 1990:87ff.). Jedoch ist der Pseudogley bei einer tiefsitzenden Staunässe weiterhin als ökologisch wertvoll zu betrachten. Ausgehend von dem unterlagernden Geschiebelehm und -mergel, ist die Nährstoffausstattung des Braunerde-Pseudogleys als gut zu betrachten. Der Pseudogley kann für den Standort in Trockenperioden als Wasserspeicher dienen und, bei einer entsprechenden Bestockung mit tiefwurzelnenden Baumarten, auch in den Verässungsphasen als unproblematisch eingestuft werden (REHFUESS 1990:93f.).

Laut bodenkundlicher Stadtkarte von Hannover lassen sich neben der **stark befahrenen Fläche** (B3) mittlere Gley-Podsole diagnostizieren. Der Bodentyp des Podsol entsteht häufig auf kalkarmen Substraten und korreliert somit mit der eingangs beschriebenen Geologie des Gebietes. Charakteristisch bildet sich ein Rohhumuskörper mit sauren Bedingungen aus (REHFUESS 1990:73). Unterstützt wird diese Wirkung durch die Filterfunktion der Bäume und der daraus resultierenden Anreicherung von niedermolekularen sauren Stoffen im Boden, die auch von den Wurzeln der Bäume ausgeschieden werden. Die Verlagerungsprozesse schließen die organischen Säuren mit ein, was dazu führt, dass auch in tieferen Bodenhorizonten eine verstärkte Zersetzung der Minerale erfolgt. Daraus resultiert eine Herabsetzung der Wasserhaltekapazität (REHFUESS 1990:71 & 81). Die häufigste Mangelerscheinung auf Podsolböden ist ein Stickstoffdefizit. Durch die erhöhten emissionsbedingten, atmosphärischen Stickstoffeinträge ist dieser Mangel zumindest in Deutschland weitestgehend zurückgegangen (REHFUESS 1990:77). Der Mangel an Magnesium, Calcium, Kalium und Wasser bleibt jedoch bestehen. Diese Mängel werden erst in den grundwasserbeeinflussten Gleybereichen des Bodens durch die beschriebene Nährstoffzufuhr des Grundwasserstroms abgemildert (REHFUESS 1990:79f.). Die Standortbedingungen sind hier von den drei Untersuchungsflächen als am negativsten zu bewerten.

Die Stadt Hannover liegt 55 m über NN und nimmt nicht nur eine landschaftliche sondern auch eine **klimatische** Übergangstellung ein. So treffen die Klimabedingungen der nordwestdeutschen Tiefebene, die ozeanisch geprägt sind, mit den Klimabedingungen des Braunschweiger Raums, die kontinental geprägt sind, in Hannover aufeinander (DWD 2018a, SPEIER & POTT 1999:280). Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge und Jahrestemperatur für den Raum Hannover liegen bei 656 mm und 8,9° C (DWD 2018d:13). Über den Zeitraum von 1880 bis 2017 sind die Niederschlagsmengen um 15 % und die Jahrestemperatur um 1,5° C im Mittel angestiegen (DWD 2018d:17, 21 & 23). Für die Monate Juni, Juli und August 2018 sind in Tab. 1 die durchschnittlichen Temperaturen und Niederschläge angegeben.

Tab. 1: Durchschnittliche Temperatur und Niederschlagsmengen in den Monate Juni, Juli und August 2018 (DWD 2018a,b,c).

	Juni 2018	Juli 2018	August 2018
durchschnittliche Temperatur [°C]	18,1 °C	20,7 °C	20,0 °C
Summe der Niederschläge [mm]	21 mm	82 mm	39 mm

Die angegebenen Werte sind über die Klimastation in Hannover Langenhagen ermittelt. Im Stadtgebiet ergeben sich räumliche Schwankungen der Niederschlagsmengen und Temperaturen. Die Niederschlagswerte für den Zeitraum von 1957 bis 1975 weisen eine 8 % höhere Niederschlagsmenge im Bereich der Eilenriede gegenüber den Werten der Wetterstation in Langenhagen auf (STOCKMANN 1981:65). Laut Umweltbericht der STADT HANNOVER (2012:70) sind die Temperaturen im Bereich der Eilenriede im Vergleich zum umliegenden Stadtgebiet etwas geringer.

Die **Luftgütesituation** hat sich in Folge der bundesweiten Luftreinerhaltungsmaßnahmen durch emissionsmindernde Maßnahmen und Stilllegungen von großen Industrieanlagen gebessert (STADT HANNOVER 2018). Zudem ist seit 2008 die Wirkung luftreinerhaltender Maßnahmen, wie beispielsweise die Umweltzone, im Stadtgebiet von Hannover positiv hinterlegt (STADT HANNOVER 2017b). Die Jahresmittelwerte der Feinstaubbelastung sind seit dem Jahr 2003 kontinuierlich zurückgegangen und liegen seit 2004 unter dem Grenzwert der EU von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresdurchschnitt. Allerdings kommt es noch immer zu Überschreitungen der mittleren Tagesgrenzwerte der EU. So wurden für das Jahr 2017 insgesamt neun Tage ermittelt, die den Grenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten haben (STADT HANNOVER 2018). Die Einhaltung der SO_2 -Grenzwerte spielt dabei keine Rolle, da keine bedeutende Industrie als Emittent im Raum Hannover angesiedelt ist (LÜN 2017:6ff.). Konträr hierzu zeichnet sich die Entwicklung der NO_2 -Werte ab. Seit 2011 ist eine Stagnation und seit 2015 ein Anstieg der NO_2 -Jahresmittelwerte belegt (STADT HANNOVER 2017b). Wesentliche Gründe hierfür sind darin zu sehen, dass die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge in Hannover im Zeitraum von 2008 bis 2016 kontinuierlich von 205.299 auf 227.544 Fahrzeuge gestiegen und jedes zweite Fahrzeug, insbesondere der neu zugelassenen Fahrzeuge, dabei mit einem Dieselmotor ausgestattet ist. Fahrzeuge, die mit einem Dieselmotor der Euro 6 Norm angetrieben werden, sind hierbei als besonders problematisch einzustufen, da sie einen zehnfach höheren Ausstoß an NO_x -Emissionen entwickeln als vergleichbare Benzinmotoren (STADT HANNOVER o.J.). Vor dem Hintergrund dieser Fakten und der fast vollständigen Umschließung sowie Zerschneidung der Eilenriede mittels Straßen, sind die Untersuchungsflächen in der Eilenriede je nach Intensitätsgrad des Verkehrs gezielt ausgewählt worden. Die **stark befahrene Untersuchungsfläche** liegt an der B3 und weist ein durchschnittliches Jahresverkehrsaufkommen von 54.900 Kfz pro Tag auf (NLStBV 2015). Die an der Zuschlagsstraße gelegene, **weniger stark befahrene Untersuchungsfläche** weist ein Verkehrsaufkommen von 878 Kfz durchschnittlicher Tagesverkehrsstärke (DTV) auf (HÖVELING 2016).

3. Material und Methoden

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden feld- sowie labormethodische Ansätze der Bodengeographie, Luftreinerhaltung und Forstwirtschaft ausgewählt (Abb. 2).

Vorbereitend wurde anhand von **Luftbildern** und **Forstkarten** eine Auswahl der Flächen vorgenommen. Die **Prämissen** für die Flächen waren eine eben verlaufende Reliefstruktur, eine vergleichbare Struktur des Waldbestandes hinsichtlich der unterschiedlichen Arten und des Baumalters sowie die differenzierte Anbindung an den Straßenverkehr. Die gestellten Prämissen erzielten den Effekt, dass die Einflussfaktoren der Untersuchungsflächen auf die Exposition zum Straßenverkehr reduziert werden. Zur Verifizierung und Auswahl der Probestämme erfolgte eine Begehung der Flächen im Gelände. Die Auswahl der Bäume orientierte sich an den Hauptbaumarten, der Stieleiche und Rotbuche. Zur Erhöhung der Repräsentativität wurden je Baumart und je Reihe fünf Probestämme ausgewählt und in jeder Reihe

zwei Passivsammler platziert. In den Flächen der verkehrsberuhigten und stark befahrenen Fläche wurde bei der Begehung festgestellt, dass die Bedingungen der Bestandsstruktur nur eine Auswahl von vier Rotbuchen in der zweiten Reihe zuließen. In der Nullfläche sind jeweils drei Probebäume pro Art ausgewählt und mit insgesamt zwei Passivsammlern bestückt worden. Insgesamt wurden 44 Untersuchungsbäume ausgewählt. Die Erhebung der SO₂- und NO_x-Untersuchungen erfolgte in den Zeiträumen vom 01.06.2018 bis 29.06.2018 (29 Tage) und zur Validierung vom 20.07.2018 bis 17.08.2018 (28 Tage). Am Ende der zwei Messkampagnen wurden die Bodenfeuchtemessung und Vitalitätsansprache der Untersuchungsbäume durchgeführt. Die Messungen erfolgten von Juni bis August, da die Vitalitätsansprache der Bäume auf diese Monate beschränkt ist (MEINING 2007:11). Die Bodenprobenentnahme erfolgte am 18.09. und 19.09.2018.

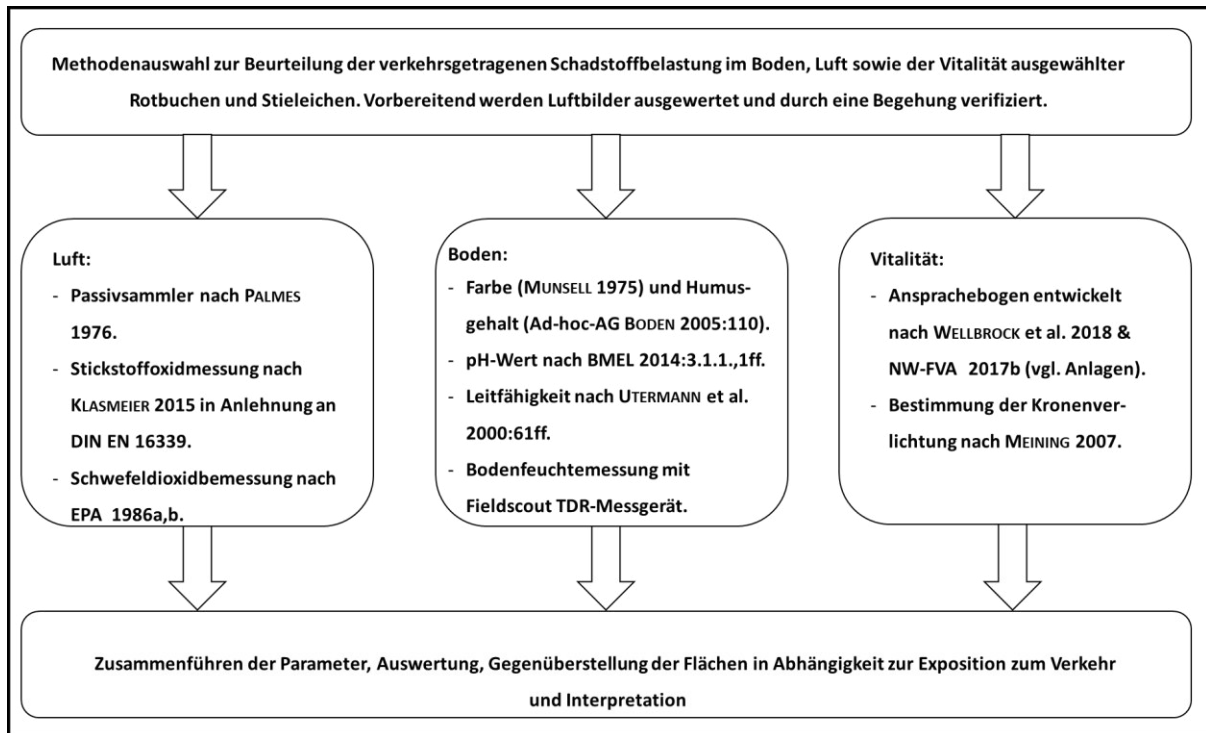


Abb. 2: Übersicht der Methodenauswahl.

Die **NO_x und SO₂** wurden aufgrund der hauptsächlich anthropogen verursachten Immissionsschäden von SO₂ in der Vergangenheit und den aktuell diskutierten Belastungen der NO_x-Verbindungen (NO_x = NO + NO₂) als Produkt des steigenden Verkehrsaufkommens ausgewählt (BLIEFERT 2002³:172f., NW-FVA 2017a:5). Zur Bemessung der SO₂- und NO_x-Konzentrationen sind eigenkonstruierte Passivsammler nach PALMES et al. (1976:571ff.) verwendet worden (WITTMAR 2019). Die Analyse der Passivsammler beruht auf dem Verfahren der Kolorimetrie nach DIN 16339 (DIN 16339 2013:5). Die SO₂-Bestimmung erfolgte nach UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1986a,b: o.S).

Die **Bodenanalytik** erfolgte im Anschluss an eine Bodenprobenentnahme als Mischprobe nach Ad-hoc-AG BODEN (2005:38f.). Pro Baum wurden hierzu fünf 30 cm tiefe Löcher geöffnet und Bodenmaterial an der Sohle entnommen. Um die Depositionsfolgen von verkehrsgetragenen Schadstoffen im Boden zu ermitteln, wurde pro Baum eine Mischprobe erstellt und der pH-Wert sowie die Leitfähigkeit erhoben. Des Weiteren erfolgte eine Bestimmung des Humusgehalts und der Bodenfeuchte als wuchslimitierende Faktoren.

Die **Vitalität** beschreibt die Lebenskraft eines Baumes und lässt sich als Fähigkeit zur Stoffumwandlung charakterisieren. Der Hauptindikator zur Bestimmung der Vitalität ist der **Kronenverlichtungsgrad**, da

jeder Baum nach einer möglichst geschlossenen Krone und somit einem hohen Grad an Stoffumwandlung bzw. Photosynthese strebt (MEINING 2007:9). Aus dem Kronenverlichtungsgrad ist eine direkte Wirkung von Umweltveränderung (z.B. Bodenversauerung, Klima-, Wasserhaushaltsänderungen) zu erfassen (WELLBROCK et al. 2018:13). Daher ist das Maß der Vitalität eine Messgröße zur Einschätzung zukünftiger Entwicklung und ein Anzeiger von Belastungen (KLUG 2005:o.S. & MEINING 2007:9). Zur Beurteilung der Vitalität wurde ein Aufnahmebogen zur Vitalitätseinschätzung von Waldbäumen nach WELLBROCK et al. (2018:29–49) und NW-FVA (2017b:7f.) entwickelt (vgl. WITTMAR 2019). In Tab. 2 ist die Definition der Schadstufen anhand der Nadel-/Blattverluststufen wiedergegeben. Dabei werden die Stufen 2–4 als deutlich geschädigt zusammengefasst (ELLING et al. 2007:45).

Tab. 2: Schadstufen nach Nadel-/Blattverlust nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45).

Schadstufe	Nadel-/Blattverlust in %	Bezeichnung
0	0–10	ohne sichtbare Schadsymptome
1	11–25	schwach geschädigt (Warnstufe)
2	26–60	mittelstark geschädigt
3	61–99	stark geschädigt
4	+ 100	abgestorben

4. Ergebnisse

Die aufgenommenen Messwerte dienen der Gegenüberstellung der Flächen. In Tab. 3 sind alle im Folgenden verwendeten Abkürzungen aufgeführt. Der Humusgehalt lag nach Ad-hoc-AG BODEN (2005: 110f.) und MUNSELL (1975) in allen Flächen zwischen 5 und 10 %.

Tab. 3: Übersicht der verwendeten Abkürzungen.

Zeiträume	Nullfläche	Verkehrsberuhigte Fläche	Stark befahrene Fläche	Baumarten
1. Zeitraum 01.06.–29.06.18	N1–3 Stieleiche	W1–5 Stieleiche (1.Reihe)	S1–5 Stieleiche (1.Reihe)	SEi = Stieleiche Bu = Rotbuche
2. Zeitraum 20.07.–17.08.18	N1–3 Rotbuche	W1–5 Rotbuche (1.Reihe)	S1–5 Rotbuche (1.Reihe)	
		X1–5 Stieleiche (2.Reihe)	T1–5 Stieleiche (2.Reihe)	
		X1–4 Rotbuche (2.Reihe)	T1–4 Rotbuche (2.Reihe)	

4.1. Luftmesswerte

In Abb. 3 sind die Ergebnisse der NO_x-Konzentrationen für beide Expositionszeiträume dargestellt. Die Standardabweichung weist für N1 und N3 im ersten Zeitraum eine deutliche Streuung der Einzelergebnisse auf, so dass diese nur eine geminderte Aussagekraft besitzen. Die NO_x-Konzentrationen finden für beide Zeiträume ihr Maximum im Bereich der stark befahrenen Fläche (S2 und S4) und ihr Minimum bei N1. Innerhalb der Zeiträume und der Reihen ist eine signifikante Veränderung der NO_x-Konzentrationen nur im Bereich der stark befahrenen Fläche zu erkennen. Die NO_x-Konzentration fällt zwischen dem ersten Zeitraum und der ersten Reihe im direktem Vergleich zum zweiten Zeitraum und der zweiten Reihe geringer aus. Die ermittelten Werte der stark befahrenen Fläche übersteigen zudem häufig die Werte der anderen Flächen. Als einzige Ausnahme ist hierbei N3 zu nennen, hier übersteigen die NO_x-Konzentrationen die Werte von T2 und T4 im zweiten Zeitraum. Im Bereich der verkehrsberuhigten Fläche ist im ersten Zeitraum die Tendenz erkennbar, dass die NO_x-Konzentrationen zur zweiten Reihe geringer ausfallen.

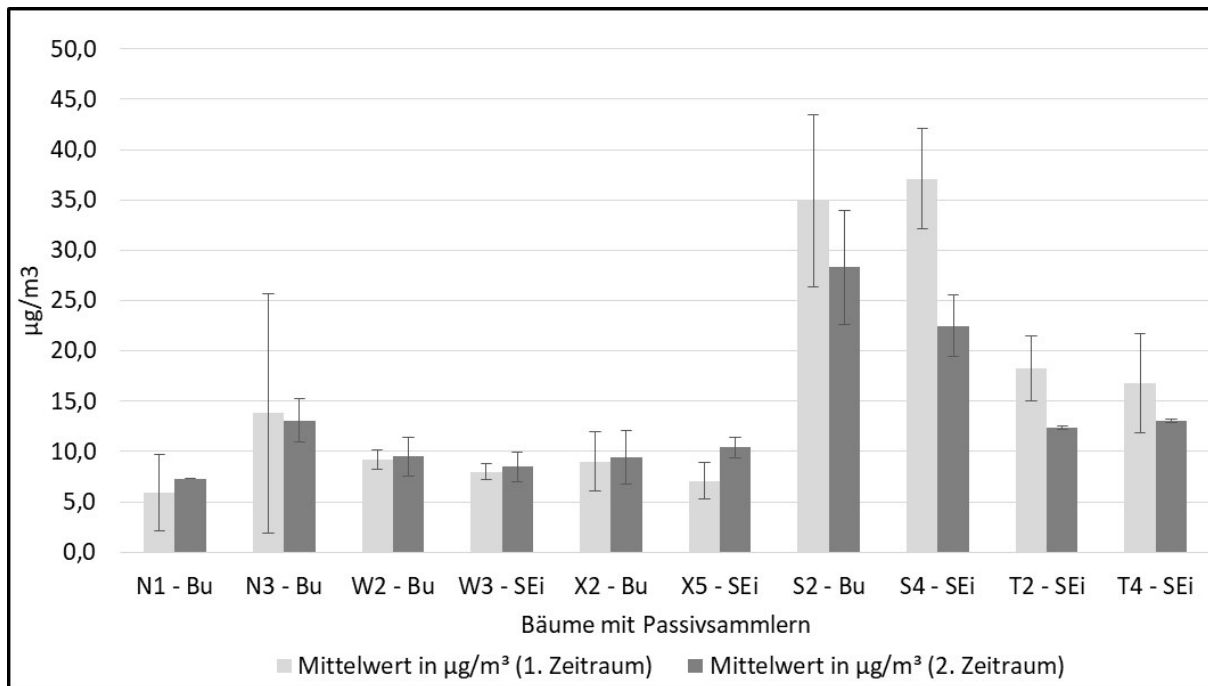


Abb. 3: Kumulierte NO_x-Messwerte in µg/m³ in Bezug auf beide Zeiträume und Flächen (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen).

Für den zweiten Zeitraum ist dies nicht zu beobachten und die Konzentrationen nehmen im Gegensatz zur stark befahrenen Fläche und im Vergleich zum ersten Untersuchungszeitraum deutlich zu. Gleiches gilt für die NO_x-Konzentrationen für die Ergebnisse von N1. Auffällig ist, dass die NO_x-Konzentrationen bei N3 die NO_x-Konzentrationen der verkehrsberuhigten Fläche und der genannten Bereiche (zweiter Zeitraum T2 & T4) der stark befahrenen Fläche übersteigen und kein Anstieg der NO_x-Konzentrationen in Verbindung zu der Verkehrsexposition der Flächen festzustellen ist.

4.2. Bodenanalytik

In Abb. 4 sind die gemessene aktuelle Azidität und Austauschazidität dargestellt.

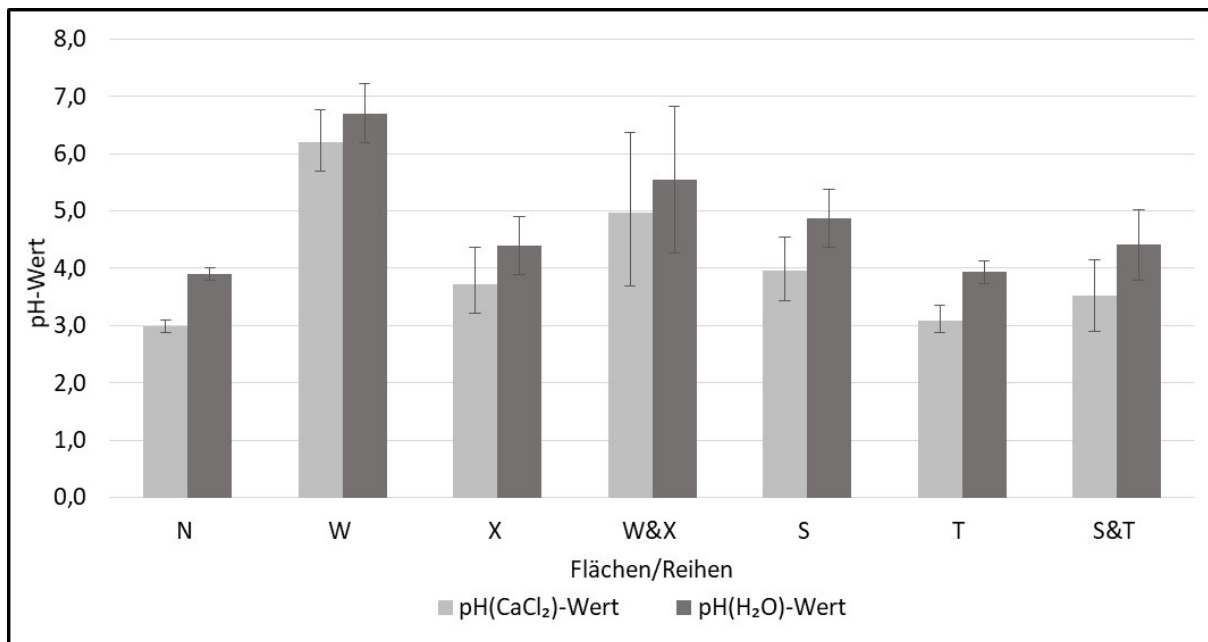


Abb. 4: Boden-pH-Messwerte der einzelnen Reihen/Flächen (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen).

Zur Übersichtlichkeit der Darstellung sind die einzelnen Mischproben und Doppelbestimmungen für jede Reihe (W, X, S, und T) gebündelt abgebildet. Zur besseren Vergleichbarkeit mit der Nullfläche (N), sind die zusammengefassten Reihenwerte für Reihen W, X, S, und T nochmals als Flächenangaben in W&X und S&T zusammengefasst dargestellt. Die Standardabweichung weist für die Nullfläche und die einzelnen Reihen (W, X, S und T) eine geringe Varianz auf. Das Maximum beider pH-Werte ist bei W mit 6,2 pH(CaCl₂) und 6,7 pH(H₂O) (neutral) festzustellen. In der Fläche N ist das Minimum beider pH-Werte mit 3,0 pH(CaCl₂) und 3,9 pH(H₂O) (stark sauer) dokumentiert.

In Abb. 5 sind die gemessenen Boden-Leitfähigkeiten dargestellt.

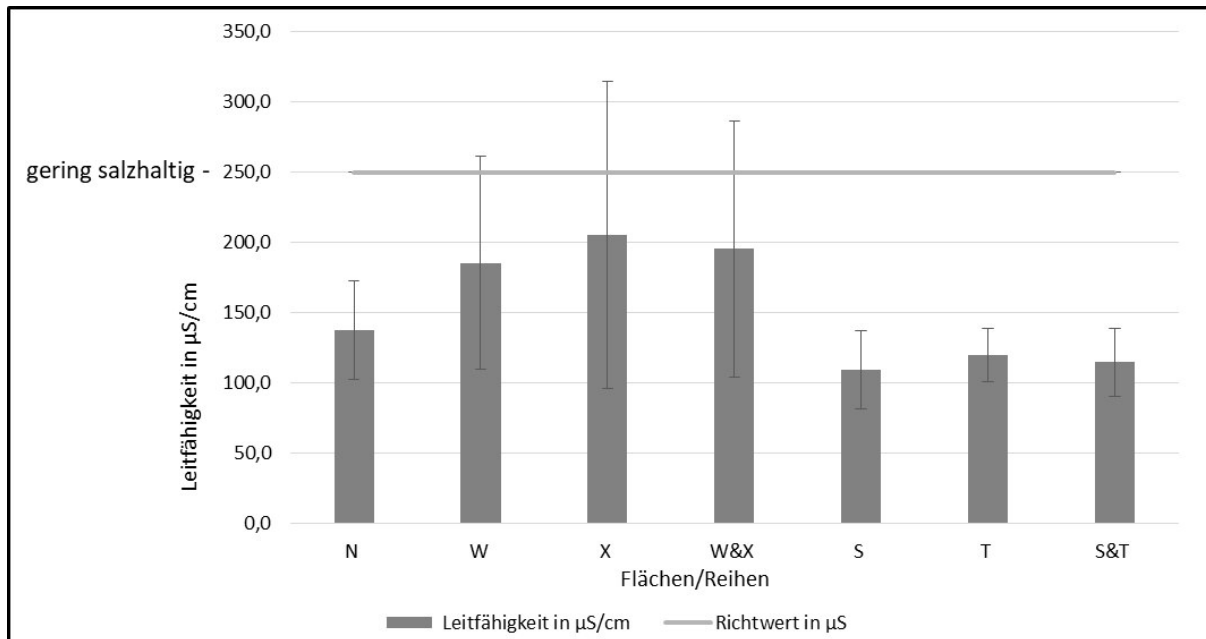


Abb. 5: Boden-Leitfähigkeit der Flächen (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen sowie Richtwert nach UTERMANN 2000:104).

Zur Einordnung der Leitfähigkeit ist aus UTERMANN 2000:104 der Richtwert „gering salzhaltig“ ergänzt. Die weiteren Richtwerte liegen weit über dem Wertebereich der Ergebnisse und sind daher nicht aufgeführt. Die berechnete Standardabweichung gibt für die Reihen W und X eine hohe Streuung der einzelnen Messergebnisse an. Demnach sind einzelne Bodenmischproben der Reihen W und X im gering salzhaltigen Bereich anzusiedeln (W1-Bu, W2-Bu und X3-SEi, X2-Bu, X3-Bu). Die verkehrsberuhigte Fläche kennzeichnet die höchste durchschnittliche Leitfähigkeit mit 195,5 µS/cm bzw. in Reihe X mit 205,4 µS/cm. Die geringste berechnete Standardabweichung und Leitfähigkeit ist für die Reihen S (109,8 µS/cm) und T (119,8 µS/cm) bemessen. Hieraus ergibt sich, dass die durchschnittliche Leitfähigkeit der Fläche S&T um 22,8 µS/cm unter den Leitfähigkeitswerten der Fläche N liegt.

In Abb. 6 sind die gemessenen Bodenfeuchtegehalte dargestellt. Die Trendlinien dienen zur Visualisierung der Messergebnisse und zeigen jeweils eine Abnahme der Bodenfeuchtwerte über die Flächen von N über W&X zu S&T an. Sowohl die Werte als auch die Trendlinie sind über die erste Messperiode signifikanter ausgeprägt bzw. fallen stärker ab als in der zweiten Messperiode. Die Messergebnisse korrelieren zwar für die einzelnen Reihen/Flächen zu den zwei Zeitpunkten, bewegen sich jedoch zum zweiten Zeitpunkt nur noch im 2 % Bereich und fallen somit im Hinblick auf den ersten Zeitpunkt insgesamt niedriger aus. Die Standardabweichungen fallen für die Werte des ersten Zeitpunktes, besonders bei N, W und S und dementsprechend bei W&X und S&T, erhöht aus. Daraus geht hervor, dass Teilmesswerte dem zweiten Zeitpunkt entsprechen bzw. ähnlich niedrig ausfallen.

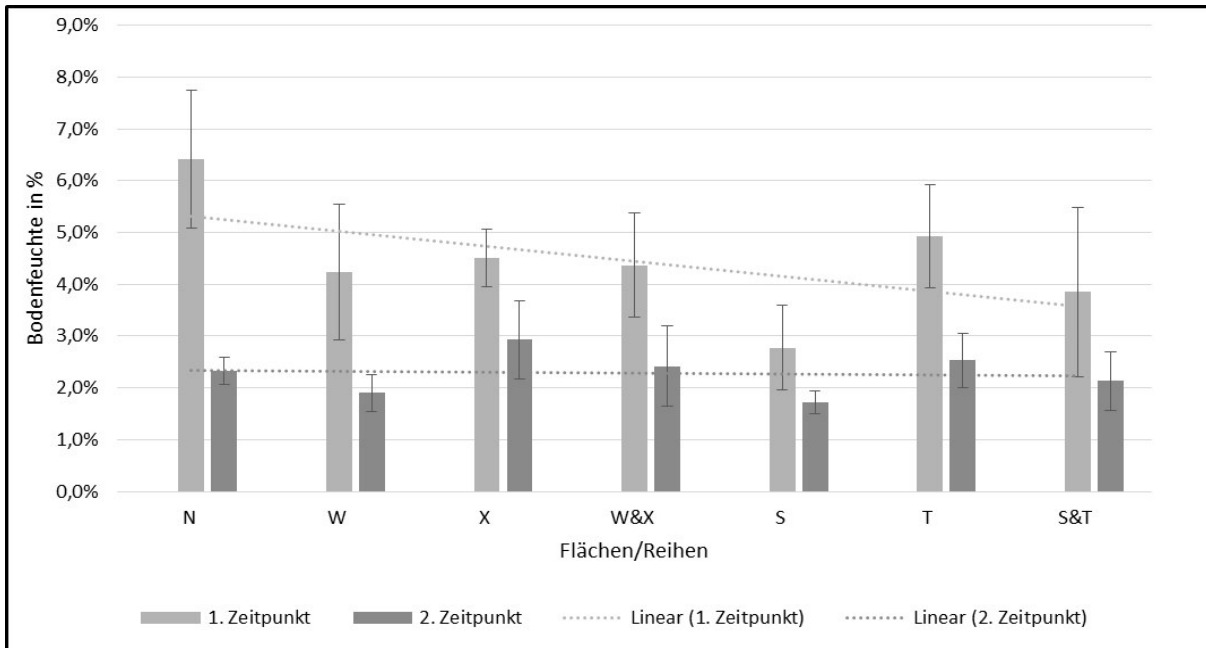


Abb. 6: Bodenfeuchtemessung (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen sowie Trendlinien).

Die Varianz an Messwerten ist für den zweiten Zeitpunkt geringer ausgefallen. Reihe X weist zwar nicht die höchsten aber die konstantesten Feuchtigkeitswerte über beide Zeitpunkte hinweg auf. Das Maximum der Bodenfeuchtemessung wird im ersten Zeitraum in der Fläche N mit 6,4 % und das Minimum mit 2,8 % bei Reihe S erreicht. Die Reihe S weist mit 1,7 % auch zum zweiten Messzeitpunkt den geringsten Wert der Bodenfeuchtemessung auf. Das Maximum der Bodenfeuchte ist nicht mehr in der Fläche N (2,3 %), sondern in Reihe X (2,9 %) erkennbar.

4.3. Vitalität

In Abb. 7 sind die gemessenen Vitalitätswerte nach Blattverlustangaben sowie die Einteilung in Schadstufen dargestellt.

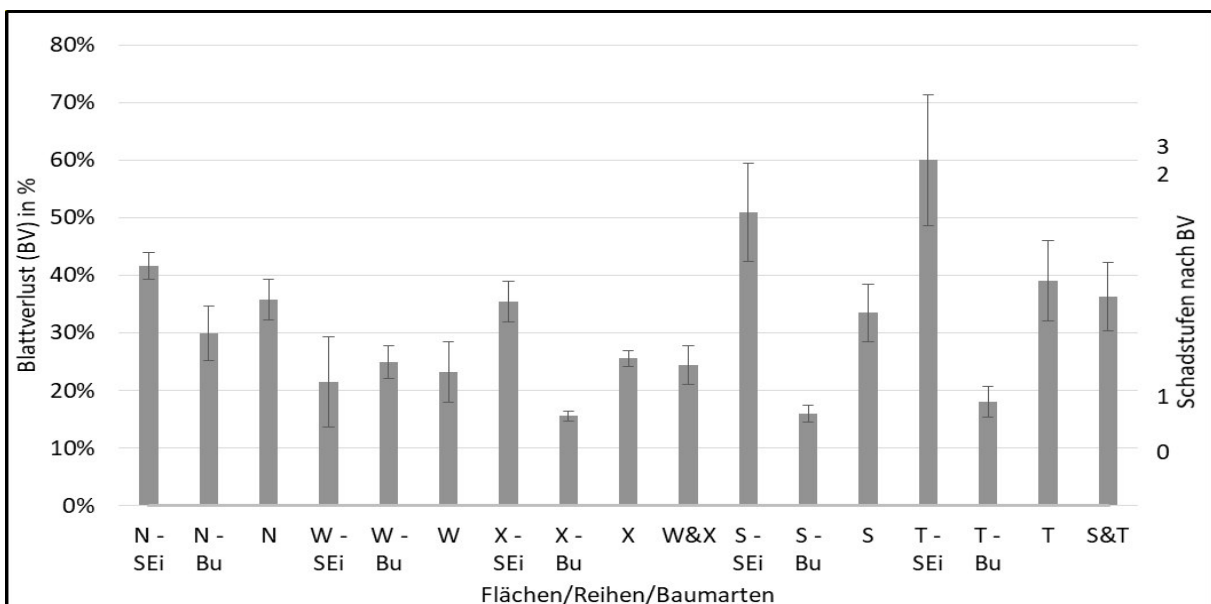


Abb. 7: Vitalitätsmesswerte nach Blattverlustangaben (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen) und Einteilung in Schadstufen (nach Tab. 5 nach BMEL (1995), in ELLING et al. (2007:45)).

In Abb. 7 sind auf der rechten Y-Achse die Schadstufen nach Blattverlust (BV) aus der Tab. 5 nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45) dargestellt. Aus diesem Grund beziehen sich die prozentualen Vitalitätswerte lediglich auf die Blattverlustwerte. Auf der X-Achse sind für beide Zeiträume die Arten SEi und Bu und folglich auch die Reihen wie Flächen dargestellt. Das Maximum an Vitalitätseinbußen ist bei T-SEi (60 %), gefolgt von S-SEi (51 %) zu verzeichnen. Dabei erreicht T-SEi die dritte Schadstufe nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45). Weiterhin ist zu konstatieren, dass kein Wert unter der Schadstufe 0 nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45) bleibt und alle Bäume als schwach geschädigt gelten. Außer die Werte X-Bu, S-Bu, T-Bu sowie Einzelwerte von W-SEi und W-Bu, fallen alle anderen Vitalitätsergebnisse in die zweite Schadstufenkategorie nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45). Wird von den erhöhten Standardabweichung bei W-SEi abgesehen, ist festzuhalten, dass außer bei W-SEi und W-Bu, die Vitalitätswerte der SEi die der Bu kontinuierlich übersteigen. Ein linearer Verlauf der Schadentwicklung ist über die Flächen N, W&X zu S&T nicht festzustellen. Die Fläche W&X weist mit 24 % die geringsten Vitalitätswerte auf und zeigt keinen signifikanten Abfall der Vitalitätswerte von der Reihe W (23 %) zur Reihe X (26 %) an. Somit ist festzustellen, dass die Vitalitätswerte der Fläche N (36 %) die Vitalitätswerte der W&X (24 %) Fläche übersteigen und innerhalb der Fläche S&T die höchste Varianz (\emptyset 38,5 %) zwischen den Baumarten SEi und Bu zu identifizieren ist. Eine Verringerung der Vitalitätswerte von der Reihe S zur Reihe T ist, ähnlich wie zwischen den Reihen W und X, nicht gegeben.

5. Diskussion

Als ein offenes Ökosystem bedingt die Eilenriede einen Austausch von Energie, Wasser und Stoffen mit ihrer Umgebung. Daraus resultiert eine Senken- bzw. Schutzfunktion vor Wind, Lärm, Luftverschmutzungen und Hitze für die Anwohner*innen in der näheren Umgebung des Stadtwaldes. Gleichen sich die Stoffeinträge und -austräge, ist ein stabiles Ökosystem gegeben. Kommt es jedoch dazu, dass die Eilenriede einem beständig hohen Zufluss der geschilderten Stoffeinträgen ausgesetzt ist, kann das Ökosystem Eilenriede diese nur temporär abpuffern. Sind die Pufferkapazitäten überschritten und keine Regenerationsphasen mehr gegeben, kommt es zu einer Verschlechterung des ökosystemaren Zustands (DUTTMANN 1985:5). Insbesondere die atmosphärischen Einträge aus den bemessenen NO_x -Emissionen wirken direkt über die trockene Deposition oder als Umwandlungsprodukt über die nasse und feuchte Deposition auf die Eilenriede ein. Der Pfad der direkten Deposition ist das Eindringen der NO_x -Verbindungen über die Stomata in das Blattinnere. Das Schadkontinuum umfasst eine Veränderung der Blattmembranen, die Verringerung der Permeabilität und eine Beeinträchtigung des Regulierungsmechanismus der Stomatabewegung. Infolgedessen gestalten sich diese Wirkungen durch die Herabsetzung der pflanzlichen Resistenz gegenüber klimatischen Stresssituationen besonders problematisch (DUTTMANN 1985:130). Als Folge der indirekten Deposition ist hauptsächlich die Absenkung der Bodenazidität festzustellen (SCHIMMING 2011:272f.).

Inwieweit eine Verschlechterung des Ökosystemzustands eingetreten ist, soll anhand der eingangs formulierten Zielsetzungen validiert werden. Zur Identifizierung der Wirkung der NO_x -Emissionen werden die obigen Ergebnisse in den folgenden Abbildungen zusammengeführt dargestellt.

5.1. NO_x und Vitalität

Abb. 8 zeigt die NO_x - und Vitalitätswerte über die zwei Zeiträume der Messkampagne. Vergleicht man die Zeiträume miteinander, ist ein ähnliches Muster in der Abfolge der Messwerte zu erkennen. Es wird deutlich, dass die aufgenommenen Messergebnisse keine Zufallsergebnisse darstellen. Es ergeben sich jedoch zwei wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen. Die NO_x -Werte fallen im zweiten Zeitraum im Bereich der Reihen S, T sowie der Fläche S&T um $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geringer aus. Die Vitalitätswerte erhöhen sich hingegen für alle Reihen/Flächen außer für X-Bu im zweiten Zeitraum.

Darüber hinaus ist eine geringfügige Zunahme der NO_x-Werte um 1 µg/m³ für die Fläche W&X festzustellen.

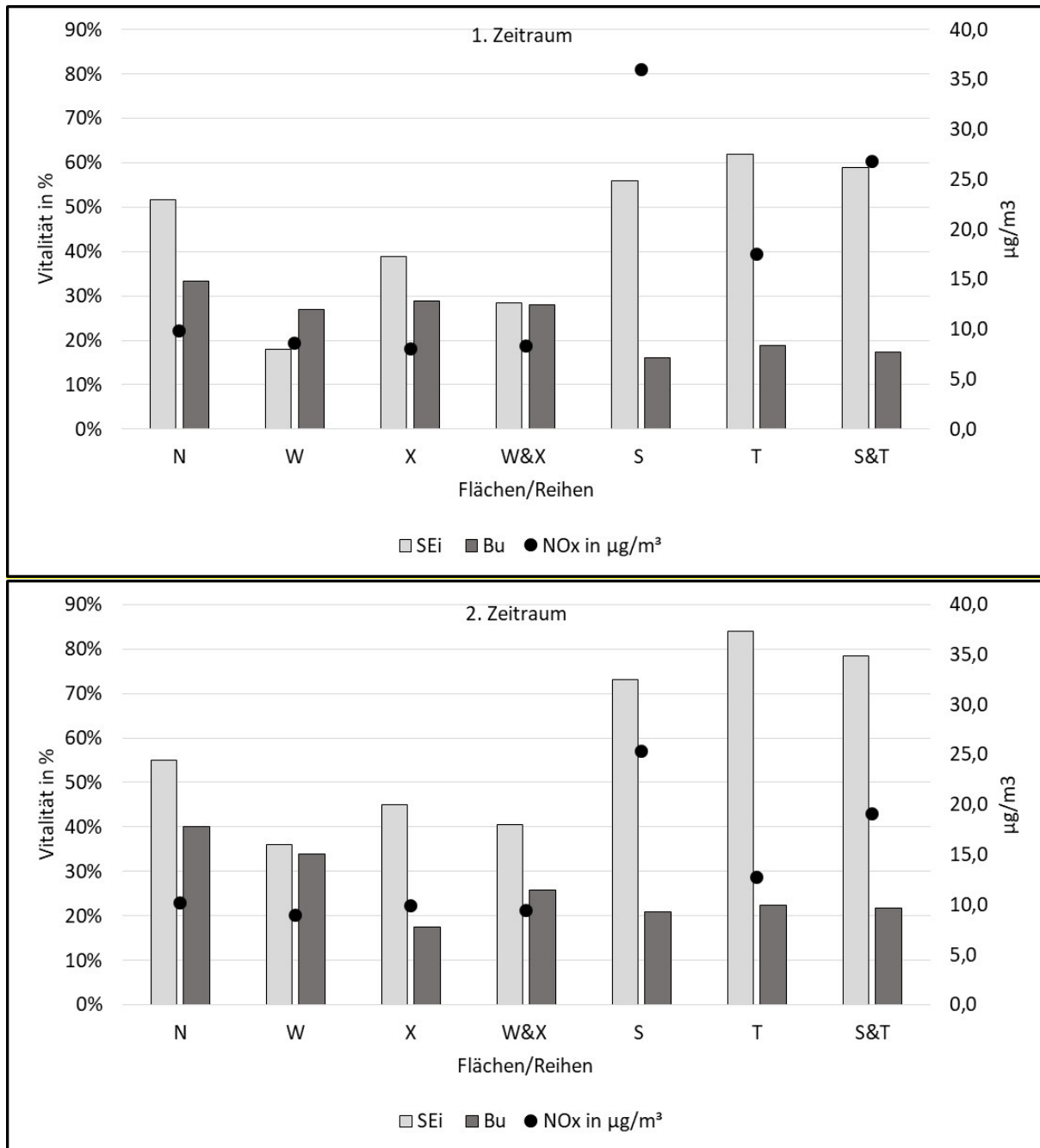


Abb. 8: NO_x und Vitalität in Abhängigkeit der Expositionszeiten.

Diese geringfügige Steigerung und das Absinken der NO_x-Werte fallen zusammen mit dem Beginn der schulischen Sommerferien in Niedersachsen (SCHULFERIEN.ORG 2018:o.S.). In diesen Zusammenhang sind die Veränderungen der NO_x-Werte zu stellen. Die marginale Erhöhung der NO_x-Werte in der Fläche W&X ist entweder auf das veränderte Freizeitverhalten und die vermehrte Nutzung der anliegenden Kleingartenkolonie, oder auf die nicht gegebene methodische Exaktheit zurückzuführen. Die deutlicher ausfallenden Unterschiede der NO_x-Werte im Bereich der Fläche S&T stehen in Abhängigkeit zur Verkehrsintensität. Als dominierendes Arbeitsmarktzentrum ist die Stadt Hannover mit einem steten Wachstum der Pendlerströme gekennzeichnet. Insgesamt kommt die Stadt Hannover auf 145.115 Ein- und Auspendler (REGION HANNOVER 2015:15). Darüber hinaus hat die ganze Region Hannover eine Steigerung der Verflechtungsintensität erfahren. Eine zentrale Ein- und Ausfallstraße stellt die B3 dar,

die in direkter Nähe zur Fläche S&T steht, und den Zyklen der Pendlerströme unterworfen ist. Die Abnahme der NO_x-Werte im zweiten Messzeitraum ist durch ein verändertes Verkehrsverhalten innerhalb der Schulferien naheliegend (REGION HANNOVER 2015:2 & 14ff.).

Zur Einordnung der gemessenen NO_x-Werte dient die 39. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. In dieser ist der Grenzwert als durchschnittlicher Jahreswert pro Tag mit 40 µg/m³ für den Menschen und mit 30 µg/m³ als kritischer Wert für die Vegetation definiert (LÜN 2018:19). Die gemessenen Ergebnisse unterliegen zwar nicht den gesetzlich vorgegeben Jahresdurchschnittswerten und wurden nicht nach den Maßgaben des Gesetzgebers validiert, liefern aber dennoch Hinweise auf eine Belastung der Gebiete je nach Verkehrsexposition. Eine Grenzwertüberschreitung in Bezug auf den Menschen ist nicht gegeben. Indes ist eine Grenzwertüberschreitung für den kritischen Wert der Vegetation von 6 µg/m³ für die Reihe S im ersten Zeitraum festzustellen (LÜN 2018:19). Im Vergleich zu den grenzüberschreitenden NO_x-Werten sind die Vitalitätswerte der SEi in der Fläche S&T mit 59 % im ersten Zeitraum und 79 % im zweiten Zeitraum am höchsten. Mit diesem erhöhten Vitalitätsmaß fallen die Bäume in die Schadstufe 2 und 3 und gelten somit als mittel bis stark geschädigt. Die Vitalitätswerte der SEi, insbesondere der Reihe S, unterstreichen die aufgenommenen Werte der NO_x-Messung und zeigen eine bedenkliche Entwicklung des Ökosystemzustands an. In Abb. 8 werden Vitalitätsdaten verwendet, die sich aus allen aufgenommenen Schadwerten ergeben und somit von den Formalien der Kategorisierung in Tabelle 3 abweichen. Jedoch spiegeln auch die Werte in den Ergebnissen einen mittel bis stark geschädigten Stieleichenbestand der Fläche S&T wider. Zudem dient die zusätzliche Aufnahme von Schadparametern in Abb. 8 der Ergebnisabsicherung und ist in ROLOFF (2001:39f.) empfohlen. Die ausschließliche Beurteilung mittels Blattverlustangaben ist beispielsweise durch eine höhere Trieblänge und folglich eine höhere Blätterverteilung im Raum fehlerhaft. Ebenso kann eine intensive Belaubung in der peripheren Krone eine dichte Krone und somit eine geringe Vitalität vortäuschen, obgleich die innere Krone ggf. kaum beblättert ist. So kann es zu Fehleinschätzungen hinsichtlich der Vitalitätsbewertung kommen. Es empfiehlt sich daher bei eingehenden Untersuchungen weitere Parameter zu beachten (ROLOFF 2001:40f.).

In beiden Zeiträumbetrachtungen wird deutlich, dass die Vitalitätswerte der SEi, bis auf eine Ausnahme im ersten Zeitraum (W), die Vitalitätswerte der Bu übersteigen, obwohl beide Baumarten als weniger empfindlich gegenüber NO_x-Belastungen eingestuft sind (VDI 1978:Blatt 5). Eine ausschließliche Abhängigkeit zwischen Vitalität und NO_x-Belastungen ist damit nicht gegeben. Zudem ist der höhere Schädigungsgrad der Untersuchungsbäume in der Nullfläche gegenüber der Fläche W&X gegensätzlich zu der Annahme, dass die NO_x-Belastungen der maßgebliche Einflussfaktor für die Vitalität sind. Dennoch ist die Erhöhung der NO_x-Belastungen mit der Steigerung der Vitalitätswerte im Bereich der Fläche S&T als ein zusätzlicher Stressor zu identifizieren.

5.2. Alter und Vitalität

In Abb. 9 ist der Zusammenhang von Vitalität und Brusthöhendurchmesser (BHD) über den gesamten Zeitraum dargestellt.

Es lässt sich eindeutig der erhöhte Schädigungsgrad der Nullfläche ableiten. Der Brusthöhendurchmesser (BHD) liegt mit durchschnittlich 75 cm für die sechs Untersuchungsbäume der Nullfläche am höchsten. Das sekundäre Dickenwachstum des Baumes ist ein Indiz für das Alter des Baumes. Limitierende Faktoren können das sekundäre Dickenwachstum zwar deutlich verringern, aber durch die vergleichbaren Standortbedingungen der Untersuchungsflächen ist ein vergleichender Rückschluss mittels des BHD auf das Baumalter möglich. So ergibt sich für die Untersuchungsbäume der Fläche N ein allgemein erhöhtes Baumalter und eine damit verbundene, natürliche Vitalitätsminderung im Gegensatz zu den weiteren Flächen (ROLOFF 2001:54). Generell ist Abb. 9 zu entnehmen, dass die jüngsten Untersuchungsbäume der Fläche W&X die geringsten Vitalitätswerte aufweisen.

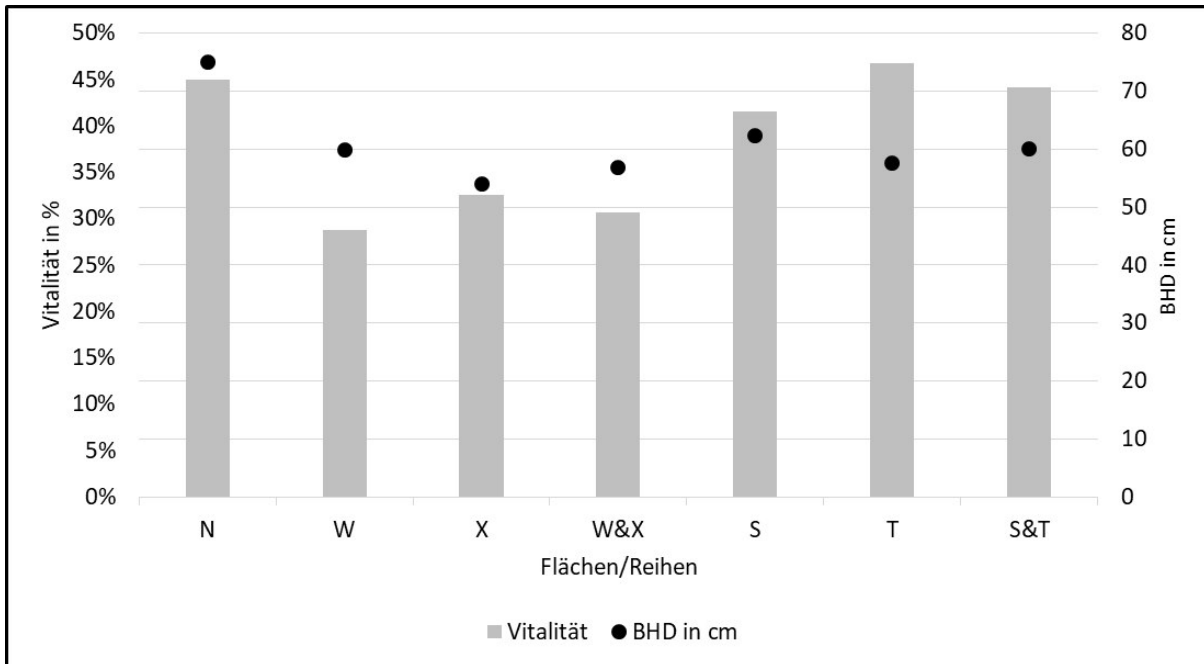


Abb. 9: Vitalität und Brusthöhendurchmesser (BHD) über den gesamten Zeitraum.

Der durchschnittlichen BHD-Berechnungsabstand zwischen den Flächen W&X und S&T lässt mit nur 3 cm Unterschied keine signifikante Erhöhung der durchschnittlichen Vitalitätswerte für die Fläche S&T zu. Das Vitalitätsmaß erhöht sich jedoch und korrespondiert mit der Erhöhung der NO_x-Werte.

5.3. Vitalität und Bodenfeuchte

In Abb. 10 sind die Bodenfeuchtwerte aus Abb. 6 mit den Vitalitätswerten der drei Flächen gebündelt visualisiert.

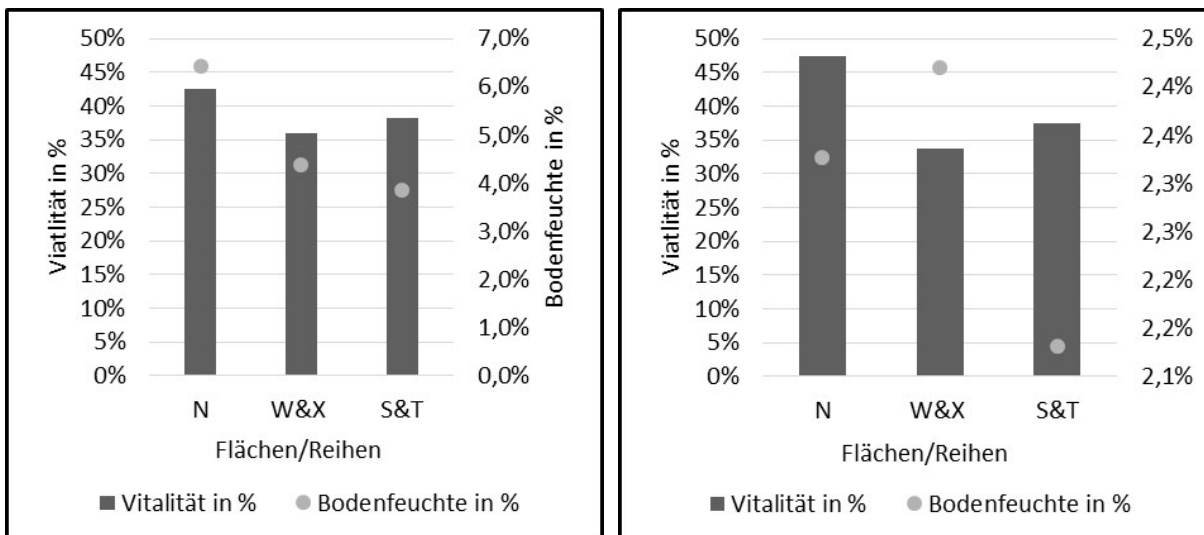


Abb. 10: Vitalität und Bodenfeuchte über die Expositionszeiten (links: 1. Zeitraum, rechts: 2. Zeitraum).

Aus den Trendlinien in Abb. 6 geht ein Absinken der Bodenfeuchtwerte von N über W&X zu S&T in beiden Zeiträumen hervor. In Abb. 10 ist der gleiche Trend zu erkennen, da die punktuellen Datensätze für beide Zeiträume ein ähnliches Bild der Bodenfeuchtwerte zeichnen. Es ist jedoch festzustellen, dass die Bodenfeuchtwerte im zweiten Zeitraum bei W&X ihr Maximum finden. Der vorherrschende Bodentyp des Pseudogleys bedingt durch seine erhöhte Wasserhaltekapazität auch in trockeneren Phasen

eine bessere Versorgung mit Wasser und korreliert mit den geringen Vitalitätswerten und den beständigen Bodenfeuchtwerten der Fläche W&X (REHFUESS 1990:93f.). Trotz alledem ist im temporären Vergleich beider Untersuchungszeiträume zu beobachten, dass die Bodenfeuchtwerte im zweiten Zeitraum in allen Flächen abgesunken sind.

Aus den Wetterdaten, die in Tab. 1 aufgeführt sind, ist für den Zeitraum der Bemessung ein durchschnittlicher Niederschlagswert von 47 mm und ein gleichzeitiger Temperaturanstieg von 1,9 °C von Juni zu August hinterlegt. Über den Referenzzeitraum von 1981 bis 2010 ist für Niedersachsen im Untersuchungszeitraum indes ein durchschnittlicher Niederschlagswert von 74,1 mm bemessen (DWD o.J.). In diesen Zusammenhang ist die Hydrologie der Eilenriede zu stellen. Wie oben erläutert, ist die Eilenriede vom Grundwasserszufluss aus südöstlicher Richtung des Kronsberg abhängig. Der Pegel des Grundwasserstroms wird durch lokale Niederschlagsverhältnisse stark beeinflusst und sinkt bei unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen ab. Dieses Abhängigkeitsverhältnis wurde von DUTTMANN (1985:38ff.) bei der Untersuchung der Grundwasserganglinien festgestellt. Mit der Abnahme der Bodenfeuchte sowie den unterdurchschnittlichen Niederschlagswerten ist von einer Abnahme des Grundwasserspiegels auszugehen. Die gleichzeitige Temperaturzunahme trägt zur Verstärkung des Wassermangels und folglich zur Nährstoffunterversorgung der Vegetation in der Eilenriede bei (LARCHER 1994:140f.). Unter diesen Bedingungen sind die deutlich erhöhten Vitalitätswerte der SEi zu betrachten. Als feuchtigkeits- und nährstoffliebende Art findet die SEi im Gegensatz zur Bu keine idealen Standortbedingungen mehr vor (ROLOFF 2001:105).

5.4. NO_x, Vitalität und Bodenfeuchte

Abb. 11 stellt die Parameter Bodenfeuchte, NO_x und Vitalität in einen Zusammenhang. Es wird deutlich, wie sich die Stressoren des Wassermangels und angestiegenen NO_x-Werte in erhöhten Vitalitätswerten der Untersuchungsbäume widerspiegeln. In beiden Untersuchungszeiträumen ist zu erkennen, dass die Fläche S&T gegenüber der Fläche W&X die geringsten Bodenfeuchtwerte bei gleichzeitig dreifach erhöhten NO_x-Belastungen im ersten sowie zweifach erhöhten NO_x-Belastungen im zweiten Zeitraum aufweist. Bedingt durch die Wasserknappheit und den zusätzlichen Stressor NO_x, weist die Fläche S&T die höchsten Vitalitätswerte und somit die am stärksten geschädigten Bäume nach der Fläche N auf. Die Fläche N ist indes durch den ältesten Baumbestand gekennzeichnet und somit mit natürlich hohen Vitalitätswerten ausgestattet. Eine Limitierung seitens geringen Bodenfeuchtwerten und einer relativ hohen NO_x-Belastung, die nicht aus den Untersuchungen zu erklären sind, ist nicht ausgeschlossen. Dennoch ist die Referenzfläche N mit Vorsicht mit den anderen Flächen zu vergleichen, da die verwendeten Karten in Kapitel 3 immer einer gewissen Generalisierung unterliegen und der Bestand nicht gleichmäßig mit ca. 100 jährigen Eichenbeständen ausgestattet ist.

Zudem ist festzuhalten, dass bei der hohen vorliegenden Belastung der Fläche S&T ein Filtereffekt zwischen der fahrbahnnah gelegenen Reihe S und der zweiten Reihe T zu verifizieren ist. Es erfolgt eine Abnahme der NO_x-Werte um 50 %. In der Fläche W&X ist zwischen der Reihe W und Reihe X kein deutlicher Unterschied zu erkennen. Eine mögliche Erklärung ist darin zu sehen, dass der hinter der Reihe W verlaufende Wanderweg durch fehlenden Bewuchs den Filtereffekt verringert. Zudem wird in Kapitel 4 auf die Messungenauigkeiten der Passivsammler hingewiesen, sodass ein möglicher Filtereffekt zu geringfügig ist, um ihn zu erfassen (DIN 16339 2013:4 & 5ff.).

In Betrachtung der Abb. 11 sind die Vitalitätswerte der Reihe T, obgleich diese weniger stark verkehrsexponiert ausgerichtet sind, höher als die der Reihe S. Hierfür können mehrere Faktoren verantwortlich sein. Eine mögliche Erklärung ist die intensive Sonneneinstrahlung in der Reihe T. Innerhalb der Begehung konnte die Entnahme einiger Bäume vor der Reihe T festgestellt werden, wodurch Teile der Untersuchungsbäume freigestellt wurden. Das Freistellen der zuvor im Bestand geschützten Bäume hat zur Folge, dass die direkt einwirkende UV-Strahlung zu einer zusätzlichen Schädigung der Bäume führt (ELLING et al. 2007:95f.).

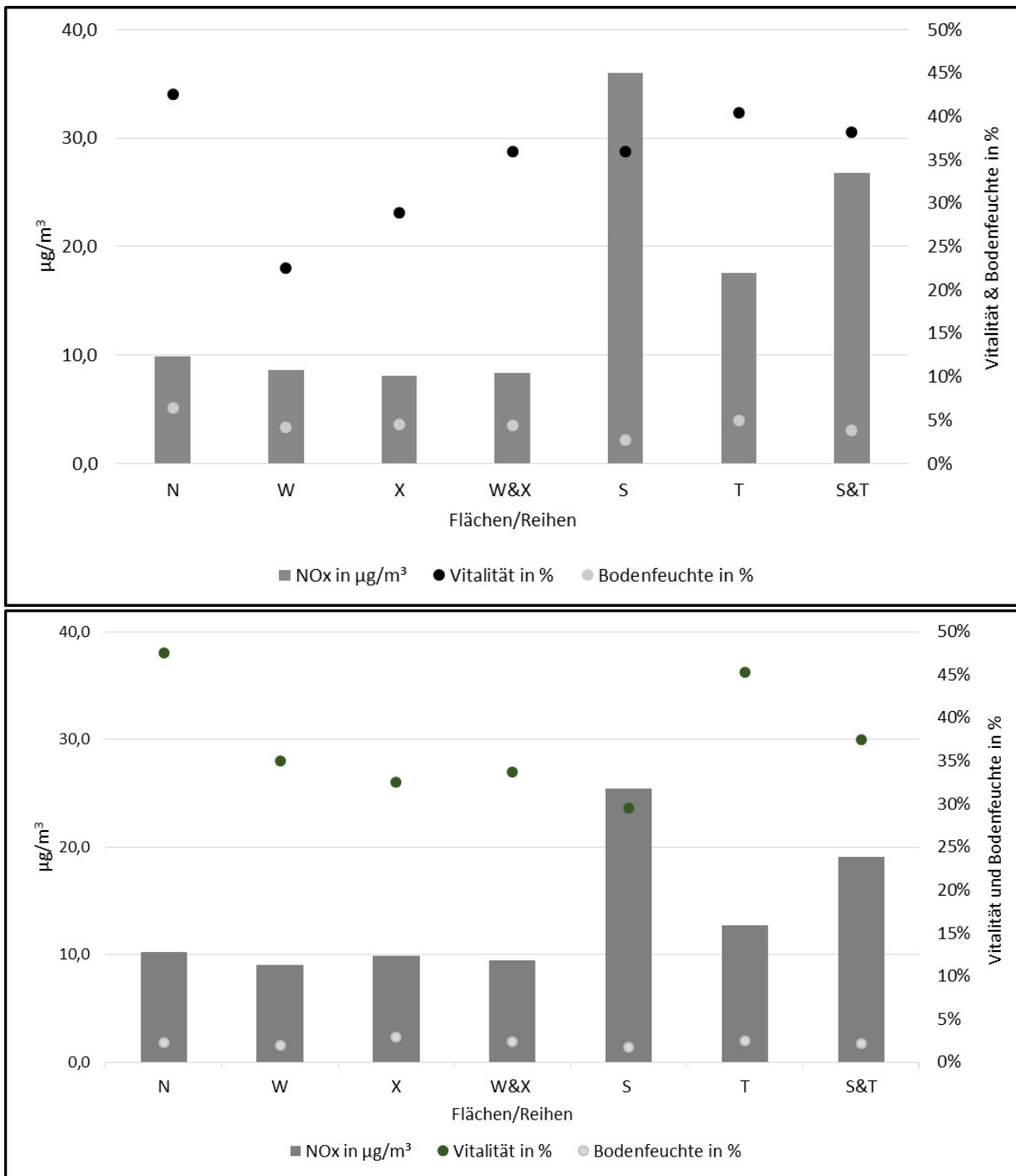


Abb. 11: NO_x, Vitalität und Bodenfeuchte über die Expositionszeiten (oben: 1. Zeitraum, unten: 2. Zeitraum).

Gleichwohl kann bei der Ansprache der Untersuchungsbäume eine Verfälschung der Werte aufgetreten sein, da den Kronen der Reihe W und S mehr Raum zur Verfügung steht als der Reihe X und T, welche im geschlossenen Bestand einen minder vitalen Eindruck hinterlassen können. Berücksichtigt werden muss, dass hier bisher nicht alle Methoden aus Abb. 9 sowie alle Ergebnisse in das Wirkungsgefüge mit eingebunden worden sind.

5.5. pH-Werte, Luft und Leitfähigkeit

In Abb. 12 sind die pH-Werte (CaCl₂), NO_x und Leitfähigkeit über die gesamte Expositionszeit dargestellt.

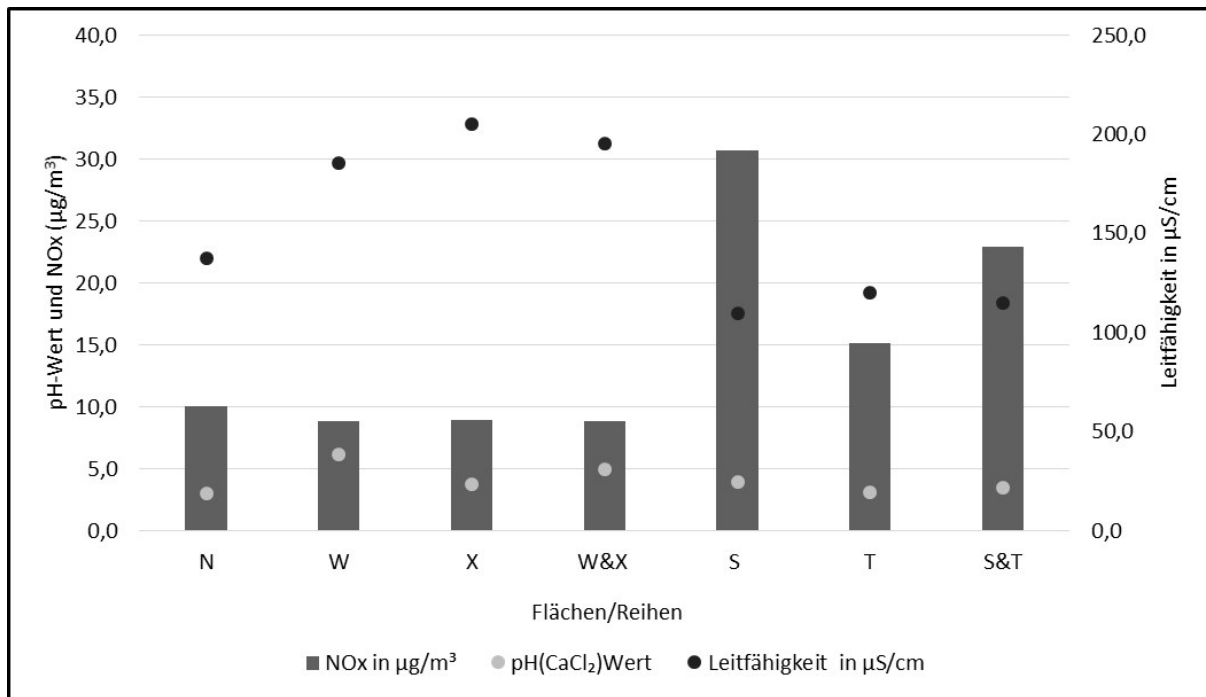


Abb. 12: pH-Wert (CaCl₂), NO_x und Leitfähigkeit über die gesamte Expositionszeit.

Für die Flächen W&X liegen die pH-Werte im leicht sauren Bereich. Dementsprechend konnte eine verhältnismäßig hohe Leitfähigkeit bemessen werden. Gleichzeitig fallen die NO_x-Belastungen in der Fläche gering aus, sodass von einer Abnahme der Leitfähigkeit oder einem Wandel der pH-Werte in den sauren Bereich nicht auszugehen ist. Entsprechend des Bodentyps weist die Fläche W&X gegenüber den anderen Flächen die günstigsten Standortbedingungen auf. Obwohl in der Fläche N stark saure pH-Werte bemessen wurden, ist die durchschnittliche Leitfähigkeit um 22,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ höher als in der Fläche S&T. Lohnenswert ist eine genauere Betrachtung der Leitfähigkeits-, pH- und NO_x-Werte der Fläche S&T. Die Leitfähigkeit fällt im Bereich der Fläche S&T am geringsten und die Differenz der pH-Werte am höchsten aus. Zurückzuführen ist die Abnahme der Leitfähigkeit, die ein Ausdruck für die Höhe des Nährstoffanteils im Boden ist, auf den historischen aber auch aktuellen Prozess der zunehmenden Versauerung, der durch den erhöhten NO_x-Eintrag noch verstärkt wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:154). Anhand des Bodentyps Podsol ist eine historische Versauerung belegt und aus dem aktuell ablaufenden Prozess der zunehmenden Versauerung eine weitere Qualitätsabnahme der Fläche zu erwarten. Hierzu trägt sowohl der natürlich getragene Prozess der Versauerung durch die Herauslösung von Nährstoffen mittels H⁺-Ionenabgabe der Pflanzenwurzeln zur Absorption von Nährstoffen als auch die größtenteils aus Sanden bestehende Geologie bei (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:155). Es ist davon auszugehen, dass der erhöhte Eintrag an NO_x und die daraus resultierenden Umwandlungsprodukte die ablaufenden Bodenprozesse steigern.

Demnach lassen sich eine erhöhte NO_x-Belastung und ein erhöhtes Vitalitätsmaß auf die Exposition zum Verkehr zurückführen. Das NO_x trägt dazu bei, die Resilienz der Bäume gegenüber anderen Umwelteinflüssen herabzusetzen und es ist davon auszugehen, dass die verstärkte NO_x-Belastung der Fläche S&T zu einer direkten Beeinflussung und Verschlechterung der Standortbedingungen führt. Anhand der festgestellten NO_x-Belastungen und der geminderten Standortbedingungen ist ebenso ein Rückschluss auf die Filter- und Senkenfunktion im Bereich der Fläche S&T möglich. Im Schnitt werden die NO_x-Belastungen in der Luft, ausgehend von der Reihe S zur Reihe T, um 50 % reduziert und über verschiedene Pfade in den Boden eingetragen. Identifizierbar ist dieser Prozess über die aktuell ablaufende Bodenversauerung und der geringer ausfallenden Leitfähigkeit in der Fläche S&T. Eine einseitige Reduzierung auf den Zusammenhang von NO_x zu den festgestellten Vitalitätswerten ist indes nicht

zielführend. Vielmehr muss die entscheidende Rolle des Bodenwasserhaushalts in der Eilenriede miteinbezogen werden. Bedingt durch den sehr trockenen und warmen Sommer 2018 ist zu vermuten, dass die ausbleibenden Niederschläge zu einem Abfall des Grundwasserspiegels geführt und eine Wasserunterversorgung ausgelöst haben. Das NO_x ist hierbei als zusätzlicher Stressor und Katalysator auszumachen. Besonders stark betrifft diese Entwicklung die Stieleichenbestände, die durch die Trockenheit und die Abnahme der Nährstoffversorgung deutlich geschwächt sind. Zusätzliche Stressoren, wie die NO_x-Immissionen, stufen die Resilienz der SEi weiter herab und verursachen in Kombination mit den geänderten Standortbedingungen die hohen Vitalitätswerte. Die Bu zeigt in den Untersuchungen ein höheres Maß an Toleranz (vgl. Abb. 7). In Betrachtung der großräumigen, anthropogen bedingten Schadstoffeinträge aus dem Individualverkehr und anderen Sektoren, wie beispielsweise der Industrie, ist ein Zusammenhang mit den zunehmenden Extremwetterlagen und Trockenperioden herzustellen. Dieses Wirkungsgefüge sollte Inhalt weiterer Studien sein.

6. Handlungsempfehlungen

Als Fazit der vorigen Diskussionen lassen sich drei Handlungsempfehlungen ableiten.

Die erste Empfehlung nimmt die wallbaulichen Strukturen in den Fokus. Die **Einbringung von autochthonen sowie standortgerechten Arten mit einem strauchigen Aufwuchs**, wie beispielsweise Feldahorn (*Acer campestre*) oder Eibe (*Taxus baccata*), kann die Oberfläche und folglich die Filterfunktion der ersten Reihe erhöhen (ELLENBERG 2001:77 & 146). Neben diesem Heckeneffekt führt die sukzessive Reduzierung von anfälligen Bäumen in direkter Straßennähe als Nebeneffekt zu einer Reduzierung der Verkehrssicherheitsmaßnahmen. Eine Anpassung der Vegetation ist nicht nur in ihrer Struktur, sondern auch hinsichtlich der geänderten Standortbedingungen ratsam. Beispielsweise kann durch den sukzessiven Austausch der Stieleiche in den trocken ausgeprägten Bereichen der Eilenriede durch die Traubeneiche (*Quercus petraea*) ein höheres Maß an Vitalität, ohne die forstwirtschaftlichen Ziele der Stadt Hannover zu gefährden, erzielt werden (ROLOFF 2001:150).

In Kombination mit den waldbaulichen Maßnahmen ist als zweite Handlungsempfehlung die Möglichkeit von **Schutzkalkungen** in Betracht zu ziehen. Über den erhöhten Filtereffekt der ersten Baumreihe kommt es kleinräumig zu einer verstärkten Versauerung des Bodens. Um diesen Prozess abzupuffern, könnten gezielte Schutzkalkungen auf vergleichsweise geringem Raum erfolgen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:159f.). Jedoch sollten hierfür weitere Untersuchungen zur Identifizierung der Konzentrationen und dem Mobilitätsverhalten von Schwermetallen sowie Auswirkungen auf das Edaphon erfolgen. Zudem sind die Kalkungsmengen erheblich und erfordern eine mehrjährige Wiederholung, um den gewünschten Effekt zu erzielen (ELLING et al. 2007:343f.).

Beide Handlungsoptionen führen jedoch nicht zu einer Behebung des Problems, sondern bekämpfen lediglich die bereits vorherrschenden Symptome. Wie in der Vergangenheit mit der Verordnung zur Nassenentschwefelung ist vom Gesetzgeber eine verbindliche Regelung zur effizienten Filterung von Abgasen, im speziellen bei Dieselfahrzeugen, unabdingbar. Die benötigten technischen Lösungen zur Reduzierung der NO_x-Belastungen bestehen bereits. In mehreren Testreihen ist vom ADAC verifiziert worden, dass beispielsweise durch den Einbau eines SCR-Katalysators die NO_x-Emissionen eines Dieselfahrzeuges deutlich gesenkt werden können (ADAC 2018:6). Die dritte Handlungsempfehlung, die **Reduzierung anthropogen bedingter Schadstoffe** und der gleichzeitige **Wandel zu einer umweltbewussten, suffizient lebenden Gesellschaft**, wären nicht nur für die Eilenriede erstrebenswert.

Literatur

- ADAM, G., LÄUGER, P. & G. STARK (2009⁵): Physikalische Chemie und Biophysik. Berlin, Heidelberg: Springer.
- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005⁵): Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart: Schweizerbart.
- ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB (ADAC) (2018): Überprüfung der Funktions- und Leistungsfähigkeit hardwareseitig umgerüsteter Euro 5-Dieselfahrzeuge im Alltagsbetrieb. Durchführung eines Alltagstests über 50.000 km mit regelmäßiger Vermessung der Abgasemissionen im Zulassungszyklus WLTC und Realbetrieb (RDE). - Erster technischer Zwischenbericht nach 10.000 km Alltagstest. <www.adac.de//media/pdf/motorwelt/adac_test_diesel_nachrüstung_kurz.pdf?la=de-de&hash=218FD66D5D1B32FBADB94A4921B5F0EC46409CC1> (Stand: 2018-10) (Zugriff: 2019-02-15).
- BLIEFERT, C. (2002³): Umweltchemie. Weinheim: WILEY-VCH.
- BLUME, H.-P. & H. MEUSER (2011⁴): Anthropogene Böden. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & THIELE-BRUN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung - Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Weinheim: Wiley-VCH, 465-484.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2014): Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. - Handbuch Forstliche Analytik, <www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald/Jagd/Bodenzustandserhebung/Handbuch/HandbuchForstanalytikKomplett.pdf?__blob=publicationFile> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-12).
- DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018a): Monatlicher Klimastatus Deutschland. Datenteil für Juni 2018. <www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html> (Stand: 2018-07-02) (Zugriff: 2018-06-10).
- DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018b): Monatlicher Klimastatus Deutschland. Datenteil für Juli 2018. <www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html> (Stand: 2018-08-03) (Zugriff: 2018-06-10).
- DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018c): Monatlicher Klimastatus Deutschland. Datenteil für August 2018. <www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html> (Stand: 2018-09-03) (Zugriff: 2018-06-10).
- DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018d): Klimareport Niedersachsen. Fakten bis zur Gegenwart. - Erwartungen für die Zukunft. <www.umwelt.niedersachsen.de/.../Klimareport_Niedersachsen_Juni_2018_.pdf> (Stand: 2018) (Zugriff: 2018-06-10).
- DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (o.J.): Zeitreihen und Trends. - Niederschlagsanomalien. Niedersachsen, Bremen, Hamburg. Referenzzeitraum 1981–2010. <www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=480164#buehneTop> (Stand: 2018) (Zugriff: 2018-06-10).
- DIN EN 16339 (2013): Außenluft – Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammlern. In: DIN: VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft. 5. Berlin: Beuth.
- DUTTMANN, R. (1985): Geoökologische Grundlagen und Gefährdungen eines innerstädtischen Waldgebiets – das Beispiel der südlichen Eilenriede/Hannover. Geographisches Institut, Univ. Hannover.
- ELLENBERG, H., DÜLL, R., WEBER, H.E. et al. (2001³): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Göttingen: Erich Glotze Verlag.
- ELLING, W., HEBER, U., POLLE, A. & F. BEESE (2007): Schädigung von Waldökosystemen. Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen. München: Elsevier.

- GRAW, M. (2011⁵): Ökologische Bewertung von Fließgewässern. In: VEREINIGUNG DEUTSCHER GEWÄSSERSCHUTZ E.V.: Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz. 64. Bonn: Vereinigung Deutscher Gewässernetze e.V.
- HERRMANN, M. (2016): Passivsammler. Bilddateien. Schriftliche Mitteilung (2018-11-01).
- HÖVELING, C. (2016): Verkehrszählung der Stadt Hannover. Schriftliche Mitteilung (2018-11-19).
- HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN (HU Berlin) (o.J.): Bodenchemische Laboruntersuchungen. - Bodenchemische Untersuchungsbox 4. <www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/bodenboxen/Geochemie4.html> (Stand: o.J.) (Zugriff: 2019-02-18).
- KLASMEIER, E (2015): Bestimmung des Stickstoffdioxids mit PALMES-Passivsammlern. Photometrische Analyse. In: Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim: SOP.
- KLUG, P. (2005): Vitalität und Entwicklungsphasen bei Bäumen. - PRO BAUM 2005, 1. <www.baumpflege-lexikon.de/fileadmin/user_upload/Stadtbaumleben/Fachartikel/Vitalitaet_ProBaum.pdf> (Stand: 2005) (Zugriff: 2019-02-10).
- KUES, J. (1987): Bodenuntersuchungsprogramm Stadtwald Hannover. Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.
- LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG) (2014): Symbolschlüssel der Geologie. Symbole für die Dokumentation geologischer Feld- und Aufschlussdaten. <www.lbeg.niedersachsen.de/download/74117/Symbolschluesel_Geologie.pdf> (Stand: 2017-07) (Zugriff: 2019-02-12).
- LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG) (2014): NIBIS® KARTENSERVEN. <www.nibis.lbeg.de/cardomap3/> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-12).
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012a): Forstbetriebswerk. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012b): Bestandesblätter. Försterei Hannover-Nord. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012c): Bestandesblätter. Försterei Hannover-Süd. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012d): Forstbetriebskarte. Stadt Hannover Süd. Maßstab: 1:5000. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012e): Forstbetriebskarte. Stadt Hannover Nord. Maßstab: 1:5000. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.
- LARCHER, W. (1994⁵): Ökophysiologie der Pflanzen. Stuttgart: Ulmer.
- LENNARTZ, B. & B. TIEMEYER (2011⁴): Boden- und Landschaftswasserhaushalt. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & THIELE-BRUN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung - Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Weinheim: Wiley-VCH, 57–91.
- MEINING, S. (2007²): Waldbäume. Bilderserie zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen. Kassel: Printec Offset medienhaus.
- MUNSELL (1975): Standard Soil Color Charts. Baltimore.
- NAGEL, H.D., SCHLUTOW, A. & T. SCHEUSCHNER (2014): Modellierung und Kartierung atmosphärischer Stoffeinträge und kritischer Belastungsschwellen zur kontinuierlichen Bewertung der ökosystemspezifischen Gefährdungen der Biodiversität in Deutschland – PINETI (Pollutant INput and Ecosystem Impact). Teilbericht 4. Critical Load. Exceedance und Belastungsbewertung. <www.umweltbundesamt.de/publikationen/modellierungkartierung-atmosphaerischer-1> (Stand: 2014-12) (Zugriff: 2019-02-12).

- NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (NW-FVA) (2017a): Waldzustandsbericht 2017. <www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Sachgebiet/Waldzustand_Boden/WZE-Berichte/WZB2017_Niedersachsen_Internet.pdf> (Stand: 2017) (Zugriff: 2019-02-05).
- NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (NW-FVA) (2017b): Arbeitsanweisung für die Waldzustandserhebung 2017 (WZE 2017) in Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR (NLStBV) (2015): Verkehrsmengenkarte. 1:250000. Hannover: Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr.
- PALMES, E.D., GUNNISON, A.F., DIMATTIO, J. & C. TOMCZYK (1976): Personal sampler for nitrogen dioxide. -American Industrial Hygiene Association journal. 2010, 37:10, <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0002889768507522> (Stand: 2010-06-04) (Zugriff: 2016-07-12).
- REGION HANNOVER (2013): Landschaftsrahmenplan der Region Hannover. <www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Naturschutz/Landschaftsrahmenplan-der-Region-Hannover> (Stand: 2013) (Zugriff: 2019-02-12).
- REGION HANNOVER (2015): Pendlerverflechtungen in der Region Hannover. – Stadtinformationen, 1, 15, 250. <www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/content/download/529104/12161717/file/005_Standortinformation_Pendlerverflechtung.pdf> (Stand: 2015-01) (Zugriff: 2019-02-12).
- REHFUESS, K. E. (1990²): Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Hamburg: Parey.
- ROLOFF, A. (2001): Baumkronen. Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Stuttgart: Ulmer.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H., et al. (2010¹⁶): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum.
- SCHIMMING, C. G. (2011⁴): Kontamination von Böden. Säurebelastung. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & THIELE-BRUN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung - Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Weinheim: Wiley-VCH, 270-283.
- SCHLATTER, S. (2004): NO₂ Passivsammlermessung mit Passivsammlern des Palmes-Typs. - Ostluft, Leistungszentrum Qualitätssicherung, Standartarbeitsanweisung. <www.iacweb.ethz.ch/staff/krieger/pdf/no2_passivsammler.pdf> (Stand: -07-26) (Zugriff: 2019-02-04).
- SCHMIDT, O. (2014): „Urban Forestry“ - Chance für die Forstwirtschaft. - LWF-Wissen, 68. <www.waldwissen.net/technik/land_raum/lwf_arboristik/index_DE> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-12).
- SCHULFERIEN.ORG (2018): Kalender 2018 + Ferien. <www.schulferien.org/Kalender_mit_Ferien/kalender_2018_ferien_Niedersachsen.html> (Stand: 2018) (Zugriff: 2019-02-12).
- SPEIER, M. & R. POTT (1999): Der hannoversche Stadtwald „Eilenriede“ in geobotanischer und historischer Sicht. In: Bericht der Reinhold Tüxen Gesellschaft, 11, 279-303.
- STAATLICHES GEWERBEAUF SICHTSAMT HILDESHEIM (LÜN) (2017): Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen. Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse 2017. <www.umwelt.niedersachsen.de/live/search.php> (Stand: 2018-03-15) (Zugriff: 2019-02-12).
- STAATLICHES GEWERBEAUF SICHTSAMT HILDESHEIM (LÜN) (2018): Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen. Monatsprotokoll Juni 2018. <www.luen-ni.de/berichte/mobe_1806_ww3.pdf> (Stand: 2018-06) (Zugriff: 2019-02-12).
- STADT HANNOVER (2018): Luftgütesituation in Hannover. -Information des Fachbereichs Umwelt und Stadtgrün. <www.hannover.de/content/download/737129/18449201/file/Luftg%C3%BCte+in+Hannover-2017.pdf> (Stand: 2018-10-08) (Zugriff: 2019-02-12).

- STADT HANNOVER (2017a): Digitale Orthophotos. Stadtgebiet Landeshauptstadt Hannover. <www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Verwaltungen-Kommunen/Die-Verwaltung-der-Landeshauptstadt-Hannover/Dezernate-und-Fachbereiche-der-LHH/Baudezernat/Fachbereich-Planen-und-Stadtentwicklung/Geo-information/Open-GeoData/Digitale-Orthophotos-DOP20> (Stand: 2017-03-16) (Zugriff: 2019-02-08).
- STADT HANNOVER (2017b): Saubere Luft für Hannover. Und wie sie verbessert werden kann. <www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Umwelt-information/Luft,-L%C3%A4rm-und-Strahlung/Luftg%C3%BCte,-Luftreinhaltung-und-Luftschadstoffe> (Stand: 2017-12) (Zugriff: 2019-02-12).
- STADT HANNOVER (2016): Die Eilenriede. Stadtwälder in Hannover. <www.hannover.de/content/download/230121/.../file/Die+Eilenriede+2016.pdf> (Stand:2016-01) (Zugriff:2019-02-08).
- STADT HANNOVER (2015): Bodenkundliche Karte. Maßstab: 1:25000. Hannover: Stadt Hannover.
- STADT HANNOVER (2012): Umweltbericht 2012. -Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz, 2012, 50. <www.hannover.de/content/download/392916/8299631/file/umweltbericht-2012.pdf> (Stand: 2012) (Zugriff: 2019-02-15).
- STADT HANNOVER (o.J.): Information Stickstoffdioxid. <www.hannover.de/content/download/601098/13726914/file/InformationStickstoffdioxid.pdf> (Stand: o.J.) (Zugriff: 2019-02-15).
- STAHR, K., KANDELER, E., HERRMANN, L. & T. STRECK (20163): Bodenkunde und Standortlehre. Stuttgart: Ulmer.
- STOCKMANN, H.U. (1981): Umweltbericht Hannover. Geographische Lage, großklimatische Lage, Klimabeschreibung. Hannover: Abteilung für Stadtforschung und Umweltschutz.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1986a): Method 9038. Sulfate (Turbidimetric). <www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9038.pdf> (Stand: 1986-09) (Zugriff: 2018-06-05).
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1986b): Method 9035. Sulfate (Colorimetric, Automated, Chloranilate). <www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9035.pdf> (Stand: 1986-09) (Zugriff: 2018-06-05).
- UTERMANN, J., GORNY, A. HAUENSTEIN, M. et al. (2000): Geologisches Jahrbuch. Labormethoden-Dokumentation. Stuttgart: Schweizerbart.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (1978): VDI Richtlinie 2310. Maximale Immissionswerte zum Schutz der Vegetation. -Maximale Immissionswerte für Stickstoffdioxid. Blatt 5. <www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_alt_vdi_2310_blatt_5maximale_immissions_werte_zum_schutze_der_vegetation_maximale_immissions_wer_/> (Stand: 2003-03) (Zugriff: 2019-02-08).
- VON DRACHENFELS, O. (2016): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen. Unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotop sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie. - Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, A/4. <www.nlwkn.niedersachsen.de/download/111210/Den_Kartierschluessel_mit_Stand_Juli_2016_koennen_Sie_sich_hier_herunterladen.pdf> (Stand: 2016-07) (Zugriff: 2019-02-15).
- WELLBROCK N., EICKENSCHIEDT, N., HILBRIG, L. et al. (2018): Leitfaden und Dokumentation zur Waldzustandserhebung in Deutschland. - Thünen Working Paper 84. <www.thuenen.de/media/publikationen/thuenenworkingpaper/ThuenenWorkingPaper_84.pdf> (Stand: 2018-01) (Zugriff: 2018-05-17).
- WITTMAR, M. (2019): Die schadstoffgetragene Verkehrsbelastung des Stadtwaldes Eilenriede (Hannover). Geoökologische Untersuchungen über die Umweltmedien: Luft, Boden und Bios. Unveröff. Bachelorarbeit, Univ. Hildesheim, Inst. f. Geographie.

Danksagung

Die Studie wurde tatkräftig unterstützt durch Herrn Markus Herrmann (Abteilung Chemie der Universität Hildesheim) sowie Herrn Johannes Drechsel und Herrn Felix Bettin (beide Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün) – dafür herzlichen Dank!

Anschrift der Autoren:

Mischa Wittmar B.Sc.

m.wittmar@gmx.net

Prof. Dr. Martin Sauerwein

martin.sauerwein@uni-hildesheim.de

Universität Hildesheim

Institut für Geographie

Universitätsplatz 1

D-31141 Hildesheim

Möglichkeiten und Grenzen offener Fernerkundungsdaten und Open-Source-Software zur Landbedeckungsklassifikation des Nationalparks Cinque Terre (Italien)

Moritz Sandner, Robin Stadtmann & Martin Sauerwein

Zusammenfassung

Das Angebot frei zugänglicher Fernerkundungsdaten wurde in jüngster Vergangenheit beträchtlich erweitert. Zudem bietet offene oder freie Software eine vielfältige Palette an Verarbeitungs- und Analysemöglichkeiten solcher Daten. Die hier präsentierte Untersuchung nutzt multispektrale Bilddaten der Sentinel-2 Satelliten aus dem Copernicus-Programm der europäischen Weltraumorganisation (ESA) zur Durchführung einer pixelbasierten Landbedeckungsklassifikation für das Gebiet der historischen Terrassenlandschaft des Nationalparks Cinque Terre (Italien). Die ausschließlich auf Grundlage von Open-Source-Anwendungen beruhende Bildklassifikation mittels Random Forest-Algorithmus ist Teil einer auf Übertragbarkeit und Kostenersparnis abzielenden Methodik und wird im Rahmen der Studie auf ihre Wirksamkeit sowie ihre Vor- und Nachteile überprüft. Die Datenverarbeitung umfasst, neben der eigentlichen Klassifikation, auch die Ableitung, Auswahl und Evaluierung zusätzlicher Eingabevariablen zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit. Die Möglichkeiten und Grenzen von Datengrundlage und Methodik werden auch vor dem Hintergrund der gebietsspezifischen Anforderungen, d.h. ihrer Verwendbarkeit zur Charakterisierung von Landschaft und Nutzungswandel, diskutiert.

Schlüsselwörter: Open Data, Open Source, Sentinel-2, Landbedeckung, Random Forest, Terrassenlandschaft, Nationalpark Cinque Terre

Summary

The range of freely accessible remote sensing data has recently been considerably expanded. In addition, open or free software offers a wide range of processing and analysis options for such data. The study presented here uses multispectral image data from the Sentinel-2 satellites of the Copernicus program of the European Space Agency (ESA) to perform a pixel-based land cover classification for the area of the historic terraced landscape of the Cinque Terre National Park (Italy). The image classification by means of a random forest algorithm, which is based exclusively on open source applications, is part of a methodology aiming at transferability and cost savings and will be tested for its effectiveness as well as its advantages and disadvantages in the course of the study. The data processing includes, in addition to the actual classification, the derivation, selection and evaluation of additional input variables to improve the classification accuracy. The possibilities and limitations of the data basis and methodology are also discussed against the background of area-specific requirements, i.e. their usability for the characterisation of landscape and land use change.

Keywords: Open data, Open source, Sentinel-2, Land cover, Random forest, Terraced landscape, Cinque Terre National Park

1 Einführung und Zielsetzungen

Die modernen Instrumente und Methoden der Geoinformatik und der Fernerkundung ermöglichen die kontinuierliche Beobachtung der Erdoberfläche auf unterschiedlichen Maßstabsebenen. Insbesondere die Kartierung und Beobachtung von Vegetation und ihrer Veränderung ist ein klassisches Anwendungsgebiet für Erdbeobachtungsdaten. In vielerlei Hinsicht wirkt die derzeitige Entwicklung von Open-Source-Softwareangeboten und frei verfügbaren Datensätzen besonders attraktiv. Dank der Open Source-Philosophie vieler Anbieter und nicht zuletzt durch Beschlüsse zur internationalen Datenpolitik, wie der INSPIRE-Richtlinie der Europäischen Kommission (vgl. BARTHA & KOCSIS 2011), hat sich die Zugänglichkeit von Geo- und Fernerkundungsdaten für die behördliche, zivile und private Nutzung enorm verbessert. Frei zugängliche Daten und Instrumente können die Bearbeitung von unterschiedlichsten Fragestellungen, im Hinblick auf entfallende Lizenzkosten für kommerzielle Software und Datenprodukte, für den Endnutzer zu einem erschwinglichen Prozess und wissenschaftliche Ergebnisse uneingeschränkt reproduzierbar machen (SINGLETON et al. 2016:1508). Vor allem in gering finanzierten Projekten und Institutionen des Gebietsschutzes sowie in der universitären Forschung kann dies von Bedeutung sein (HAO et al. 2014:25). Die vorliegende Studie soll einen Beitrag dazu leisten, Möglichkeiten und Grenzen von Open Source-Anwendungen und aktuellen, frei verfügbaren Datensätzen aufzuzeigen und zugleich die Effektivität von Daten und Methodik für die Analyse eines speziellen Landschaftstyps beurteilen.

Als exemplarischer Raumausschnitt dient der besondere Kulturraum einer mediterranen Terrassenlandschaft. Die Entwicklung der italienischen „Cinque Terre“ innerhalb der vergangenen Jahrzehnte kann als symptomatisch für einen Problemkomplex aus Landnutzungswandel, Georisiken und Schutzgebietsmanagement betrachtet werden. Komplexe Beziehungen und untereinander verstärkende Trends bilden dabei ein Geflecht aus Wechselwirkungen, das im Wesentlichen durch die Aufgabe landwirtschaftlicher Flächen, deren Verfall und dadurch entstehende Geogefahren charakterisiert ist. Besonders die widersprüchliche Rolle der Sukzession, die als stabilisierender Prozess das Risiko von Rutschungen auf aufgegebenen Flächen mittelfristig verringert, jedoch langfristigen Verlust von Landschaftscharakter und Biodiversität bedeutet, macht das Gebietsmanagement zu einer Herausforderung.

Die Studie soll zur Evaluierung der genutzten Daten, Anwendungen und Methoden dienen und diese in einem anwendungsbezogenen Kontext bewerten. Im Fokus stehen dabei insbesondere das Potenzial und die Limitierungen der bewusst kostensparend ausgewählten Daten und Methoden. Dazu werden die folgenden Aspekte bearbeitet:

- (1) Die Bewertung der Klassifikationsgenauigkeit durch einen Ansatz zur pixelbasierten Landbedeckungsklassifikation auf Grundlage von multispektralen Sentinel-2 Daten und Open-Source-Softwareanwendungen,
- (2) die Möglichkeiten zur Steigerung der Genauigkeit des Klassifikationsergebnisses im Rahmen eines praxisnahen und deshalb zugleich einfach als auch übertragbar gehaltenen Anwendungsbeispiels,
- (3) die Bewertung des Informationsgehaltes der Ergebnisse im Hinblick auf den Nutzungswandel im Untersuchungsgebiet und
- (4) das Identifizieren von Limitationen und Problemen der gewählten Methodik und der Verweis auf potentielle weitere Lösungsansätze.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Landbedeckungsklassifikation mediterraner Gebiete – eine Herausforderung

Kartierung und Monitoring von Landbedeckung und Landnutzung (*land cover / land use*) ist eines der Hauptanwendungsgebiete für Daten erdbeobachtender Satelliten (JENSEN 2016:361). Herausforderungen für Verfahren der überwachten Bildklassifikation zur Landbedeckungsklassifikation sind dabei generell jene Bedeckungsklassen, die sich hinsichtlich ihrer spektralen Eigenschaften sehr ähnlich sind und so eine geringe interkategoriale Trennbarkeit (*Seperability*) besitzen. Gleichzeitig weisen viele Landbedeckungsklassen eine hohe intrakategoriale Varianz auf und besitzen keinen einheitlichen Charakter, was ihre Repräsentativität einschränkt (RODRIGUEZ-GALIANO et al. 2012b:93). Beide Eigenschaften treffen verstärkt auf viele mediterrane Untersuchungsgebiete zu, da diese aufgrund ihrer Nutzungsgeschichte häufig durch ein heterogenes Mosaik unterschiedlicher Vegetationstypen geprägt sind. Macchien unterschiedlicher Wuchsformen und -höhen wechseln sich nicht selten kleinräumig mit landwirtschaftlichen Flächen ab, oder gehen, wie es mittlerweile an vielen eher marginalen Standorten der Fall ist, in Wald über (FALCUCCI et al. 2007). Insbesondere in ländlichen Gebieten mit höherer Relieffenergie fehlen des Weiteren größere und regelhaft geformte landwirtschaftliche Flächen, auf denen eindeutig zu bestimmende Feldfrüchte gedeihen. An ihre Stelle treten stattdessen kleinräumig wechselnde Landnutzungsmuster und ungenutzte Bereiche.

2.2 Sentinel-2

Das Sentinel-2-Satellitenpaar ist Teil des Erdbeobachtungsprogramms Copernicus der Europäischen Union und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) (ASCHBACHER & MILAGRO-PÉREZ 2012). Die baugleichen Satelliten Sentinel-2A und Sentinel-2B befinden sich seit 2015 bzw. 2017 auf sonnensynchronem Umlauf und bilden das optische Segment von Copernicus. Die Sensoren der Satelliten erfassen Strahlung in 13 spektralen Bildkanälen (Bänder) unterschiedlicher geometrischer Auflösung (Abb.1).

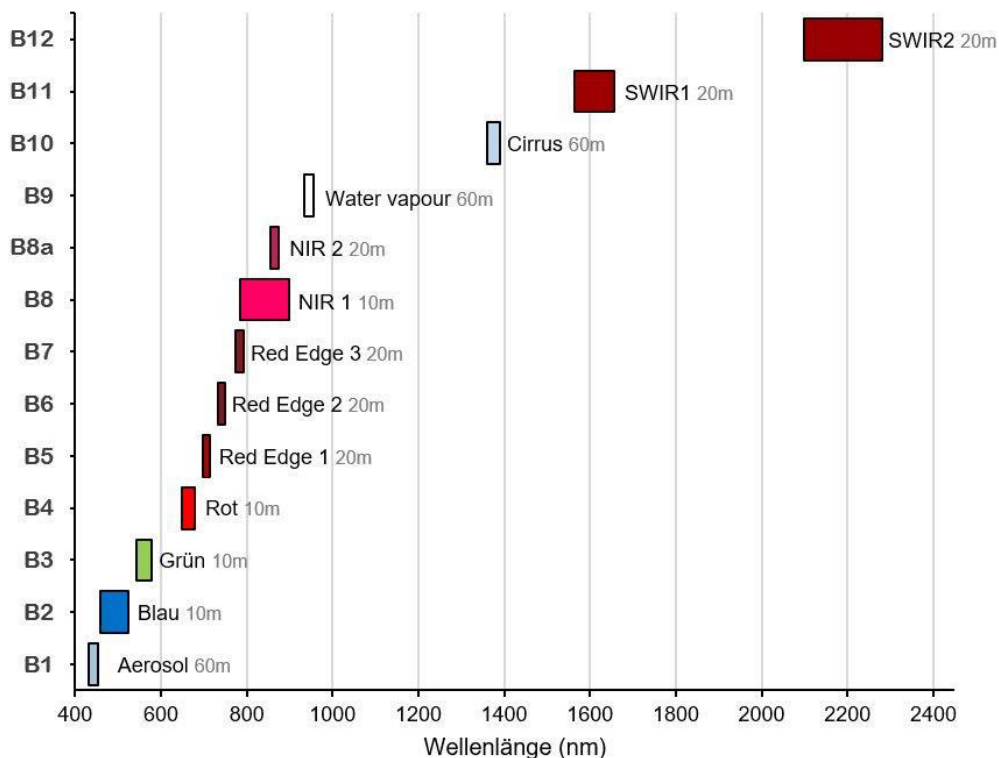


Abb. 1: Bänder des Sentinel-2-MultiSpectral Instruments nach Wellenlänge, mit geometrischer Auflösung und jeweiligem Verwendungszweck (in Anlehnung an IMMITZER et al. 2016:4).

Dabei werden die Bereiche des sichtbaren Lichts (VIS) (B2, B3, B4), des *Red Edge* (B5, B6, B7), des nahen Infrarots (NIR) (B8, B8a), sowie der Bereich des kurzwelligen Infrarots (SWIR) (B11, B12) abgedeckt. Weitere Bänder dienen dem Detektieren von Atmosphäreigenschaften (B1, B9, B10). Zusammen mit ihrer dreistufigen geometrischen Auflösung sowie einer kurzen Wiederholungsrate, stellen sie eine bisher nicht dagewesene Grundlage für ein flächendeckendes globales Monitoring der terrestrischen Erdoberfläche und der Küstengebiete dar (DRUSCH et al. 2012:26f.).

2.3 Hilfsdaten für die Bildklassifikation

Aufgrund des Einflusses von Höhe, Hangneigung oder Exposition auf die räumliche Verbreitung von Vegetation und somit der Landnutzung können auch digitale Informationen über das Relief eines Untersuchungsgebietes, vor allem in Form digitaler Geländemodelle (engl. *Digital Elevation Model*, kurz DEM) wichtige Informationen für semi-automatisierte Bildanalysen darstellen. In vielen Studien wurden Höhendaten erfolgreich zur Verbesserung von Landbedeckungs- und Landnutzungsklassifikationen herangezogen (z.B. RICCHETTI 2000, KEUCHEL et al. 2003, GISLASON et al. 2006). Andere Möglichkeiten, um zusätzliche Informationen zur Landbedeckung aus Fernerkundungsdaten herauszuarbeiten oder bestehende Informationen zu schärfen, sind etwa die Nutzung von Vegetationsindizes (HANSEN et al. 2000) oder Texturinformationen (RODRIGUEZ-GALIANO & CHICA-OLMO 2012). Auch die Verwendung anderer nicht-multispektraler Sensordaten wie hyperspektrale Bilddaten (XU & GONG 2007) oder Radardaten (CRAIG DOBSON et al. 1995) kann Vorteile bieten.

2.4 Maschinelles Lernen und Random Forest

Innerhalb der vergangenen zehn Jahre haben Fortschritte auf dem Gebiet des maschinellen Lernens zu einer bemerkenswerten Verbesserung von Klassifikationsergebnissen geführt (HUANG et al. 2002, ROGAN et al. 2008). Algorithmen-Kategorien dieser Sparte der Informatik sind etwa auf Entscheidungsbäumen (*decision trees*) basierende Klassifikatoren, neuronale Netze oder *Support Vector Machines*. Insbesondere bei der Verarbeitung von komplexen und multidimensionalen Datensätzen übertreffen die Ergebnisse dieser Algorithmen jene der klassischen, häufig parametrischen, d.h. von der Verteilungsfunktion der Daten abhängigen Klassifikatoren, wie etwa *Maximum Likelihood*. Auch für jüngere Studien in mediterranen Gebieten sind *Maschine Learning*-Klassifikatoren erfolgreich eingesetzt worden (z.B. RODRIGUEZ-GALIANO et al. 2012a, GOUNARIDIS et al. 2015).

Random Forests (RF) (BREIMAN 2001) sind Algorithmen zur Klassifikation und Regression aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Sie gehören zur Kategorie der sogenannten Ensemble-Methoden (auch *ensemble learning* oder *group learning*), deren zugehörige Algorithmen die Zusammenführung von vielen einzelnen, individuellen Modellen zu einem genaueren Modell gemeinsam haben (GISLASON et al. 2006:294).

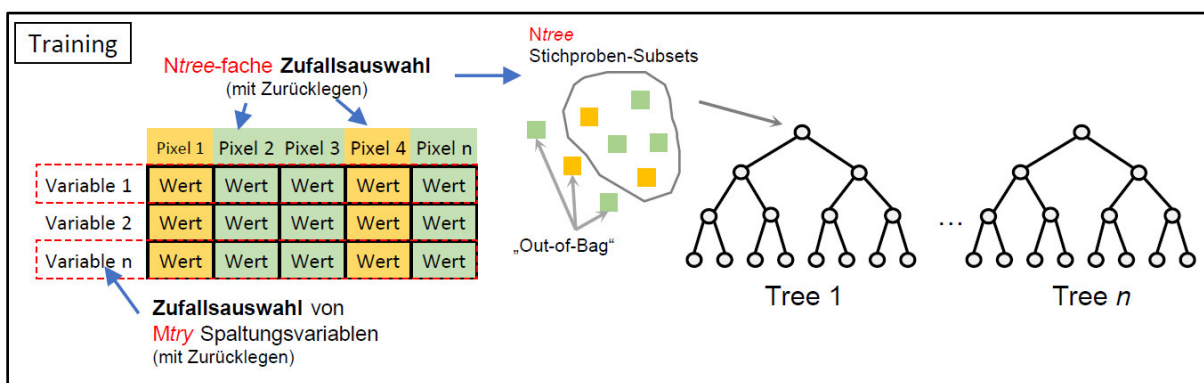


Abb. 2: Vereinfachtes Schema der Trainingsphase eines RF-Modells durch Bootstrap-Sampling und Zufallsauswahl von Spaltungsvariablen zur Definition der Knotenpunkte (nach: BELGIU & DRÄGUT 2016).

Random Forest-Modelle entstehen, indem n Entscheidungsbäume (*decision trees*) generiert werden (Abb. 2). Die Anzahl der Bäume (N_{tree}) wird dabei vom Anwender vorgegeben. Für jeden Baum wird nun, zufällig und mit Zurücklegen, eine Stichprobe von derselben Größe wie die des Trainingsdatensatzes aus den Trainingsdaten gezogen. In diesem sogenannten Bootstrap-Sampling (EFRON 1979) liegt der nichtparametrische Charakter des Algorithmus begründet. Durch dieses Prinzip können Schätzungen allein auf Grundlage der Stichprobe, d.h. den Trainingsdaten, angestellt werden, ohne eine theoretische Verteilungsfunktion vorauszusetzen, wie es etwa bei der Maximum Likelihood-Methode der Fall ist. Für die Definition der jeweiligen Knotenpunkte (*split points* oder *nodes*) innerhalb jedes einzelnen Entscheidungsbaumes wird, ebenfalls zufällig, eine zuvor festgelegte Anzahl (M_{try}) an Variablen, d.h. Datenkanäle innerhalb des Klassifikations-Datensets, genutzt. Für M_{try} wird häufig die Quadratwurzel aus der Anzahl der Eingabevariablen oder ein geringerer Wert gewählt (BELGIU & DRÄGUT 2016:25).

Bei der nach dem Training des Algorithmus durchgeführten Klassifikation (Abb. 3) schließt ein ML-Algorithmus aus dem Gelernten auf die verbleibenden Daten und ordnet diese in das bestehende Kategoriensystem ein (induktives Lernen) (JENSEN 2016:439f.). Bei Random Forests geschieht dies, indem jedes zu klassifizierende Element (hier: Pixel) die Gesamtheit der Entscheidungsbäume durchläuft und von jedem der n Bäume der nach seinem Konstruktionsprinzip am besten passenden Klasse zugeordnet wird. Schließlich entscheidet die Mehrheit der Zuordnungen im Sinne einer „Abstimmung“ (*voting*) über die abschließende Klassifizierung des Elements. Die parallele Klassifikation durch eine Vielzahl eigenständiger Entscheidungsbäume gleicht dabei die Varianz der Entscheidung eines einzelnen Klassifikators aus und soll so zu guten Ergebnissen führen (BREIMAN 2001:29).

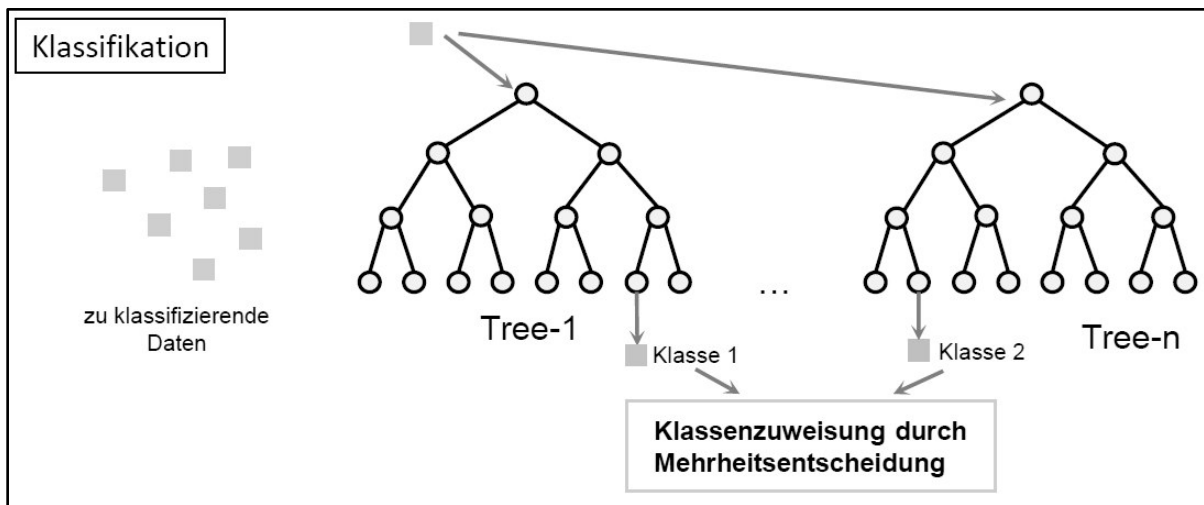


Abb. 3: Vereinfachtes Schema der Klassifikation mit trainiertem RF-Modell (nach: BELGIU & DRÄGUT 2016).

Eine Besonderheit von Random Forests ist weiterhin die eingebettete Funktion zur Berechnung eines speziellen Fehlermaßes, des Out-Of-Bag-Errors (*OOB-Error*). Dies ist möglich, da von jeder Unterstichprobe (*subset*), die für einen jeweiligen Baum vorgesehen ist, nur zwei Drittel zu seiner Konstruktion verwendet werden (vgl. Abb. 3). Der Rest der Samples verbleibt „out-of-bag“ und wird, nach abgeschlossener Konstruktion des Baumes, durch diesen testweise klassifiziert. Die Anzahl an falsch klassifizierten Elementen ergibt für die Gesamtheit der Bäume schließlich eine globale und eine klassenspezifische OOB-Fehlerrate (BREIMAN 2001:11). Diese Funktion kann als modellinterne Kreuzvalidierung angesehen werden.

Durch die Möglichkeit zur Berechnung des OOB-Fehlers ergeben sich weitere nützliche Ausgabestatis-tiken des Algorithmus. Die Maße zur sogenannten Variablenwichtigkeit (*feature importance*) sind geeignet, um den Einfluss eines jeden Informationskanals, als Eingabevariable oder *Feature* bezeichnet,

auf die Genauigkeit des Modells im Sinne der OOB-Fehlerrate zu beurteilen. Sie werden in Form der Maße *Mean Decrease in Accuracy* (MDA) und *Mean Decrease in Gini* (MDG) durch den Algorithmus berechnet. Zur näheren Bedeutung dieser Maße siehe BREIMANN (2001). Beide Werte können in einer Strategie zur Auswahl von Variablen (*feature selection*) dazu dienen, diese in einer Wichtigkeits-Rangordnung zu betrachten, um die einflussreichsten Variablen zu identifizieren und unwichtige auszusortieren (BREIMAN 2001:23, BOULESTEIX et al. 2012:494f.). Für die Anwendung im Bereich der Fernerkundung hat sich vor allem die Nutzung der MDA durchgesetzt (BELGIU & DRÄGUT 2016:26).

Neben den Vorteilen durch die beschriebenen Ausgabestatistiken, gelten Random Forests als robuste Klassifikatoren, die in der Lage sind hochdimensionale Datensets zu verarbeiten und weniger zum *Overfitting* neigen als andere ML-Klassifikatoren. Außerdem sind sie relativ anwenderfreundlich, da nur wenige Parameter definiert werden müssen und der Entscheidungsprozess, trotz Black-Box-Charakter, eine gewisse Interpretierbarkeit ermöglicht (GISLASON et al. 2006:295).

Innerhalb der letzten 15 Jahre wurden Random Forests in der Geoinformatik erfolgreich zu Kartierungsaufgaben innerhalb unterschiedlicher Themengebiete, unter Verwendung von Fernerkundungsdaten, etabliert (GISLASON et al. 2006; GHIMIRE et al. 2012; GOUNARIDIS et al. 2015; BELGIU & CSILLIK 2018).

3 Untersuchungsgebiet

Die historische Terrassenlandschaft Cinque Terre liegt im Nordwesten Italiens an der Riviera di Levante in der östlichsten Provinz der Region Liguriens La Spezia. Die alte Kulturlandschaft umfasst fünf historische Ortschaften und geht mit der von VERBAS (1978) beschriebenen Ausdehnung heute in der Fläche des 1999 ausgewiesenen Nationalparks auf (3.800 ha) (Abb. 4).

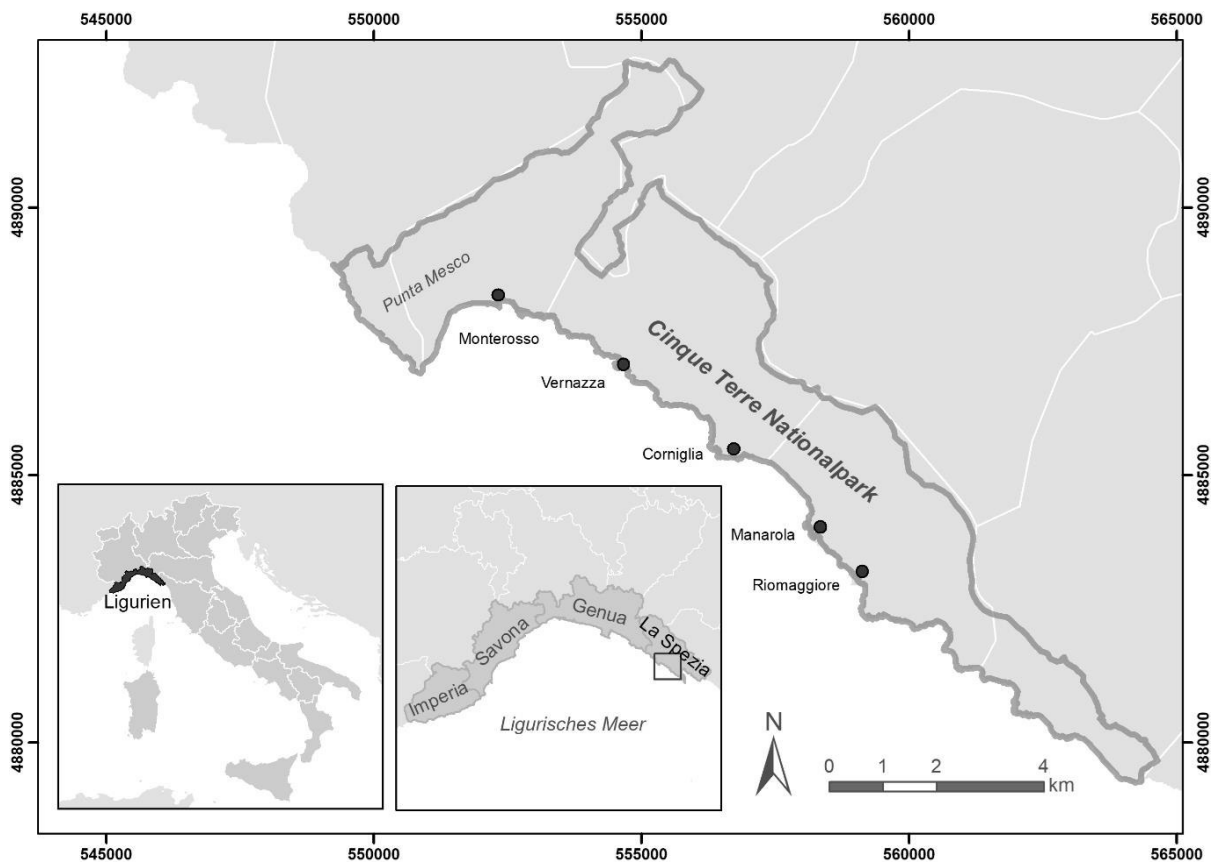


Abb. 4: Lage des Nationalparks Cinque Terre innerhalb der Region Ligurien (Italien).

Die besondere Landschaft der Cinque Terre ist ein eindrucksvolles Beispiel für die Gestaltungswirkung traditioneller menschlicher Wirtschaftsweisen. Ein Grund für die Unterschutzstellung der Cinque Terre

als italienischer Nationalpark war ein notwendiger Schutzstatus für die bereits 1997 als UNESCO-Weltkulturerbe ausgezeichnete Landschaft (FOWLER 2002), in der die lange Tradition der Errichtung und Pflege von landwirtschaftlichen Terrassen zur Urbarmachung steiler Hänge bis heute praktiziert wird. Diese haben in den vergangenen Jahrhunderten den Charakter der Landschaft entscheidend geprägt. Die Effekte von landwirtschaftlichen Terrassen und ihre Bedeutung für den Landschaftshaushalt sind in der Literatur ausführlich beschrieben (z.B. TAROLLI et al. 2014, 2015; ARNÁEZ et al. 2015).

3.1 Geologie, Böden, Geomorphologie

Im größten Teil des Untersuchungsgebietes bilden oligozäne Grauwacken (Macigno-Sandstein) der toskanischen Fazies innerhalb der Flyschserie den geologischen Untergrund. Weitere Teile der Landschaft sind ferner durch die Vorkommen von oligozänen Kalkmergeln, Kalksandsteinen oder auch Kalkschiefern der anstehenden Gesteine der Liguriden-Fazies geprägt (TERRANOVA et al. 2006). Im Bereich der Punta Meso-Halbinsel im Nordwesten des Nationalparks findet sich außerdem eines der südlichsten Vorkommen von vulkanisch-metamorphen Ophiolithen Liguriens (LINGENHÖHL 2005:26f., BRANDOLINI 2017:238f.).

Die natürliche Bodenlandschaft der Cinque Terre weist in Abhängigkeit zur Geologie nur geringe Differenzierungen auf und besteht vor allem aus Braunerden über oligozänen Grauwacken (Macigno-Sandstein) und Terra fusca-Böden über oligozänem Kalkmergel, Kalksandstein oder auch Kalkschiefer. Im Zuge der menschlichen Aktivität, insbesondere des Wein- und Olivenbaus auf Terrassenflächen, wurden die Böden der Cinque Terre nahezu flächendeckend gravierend verändert (LINGENHÖHL 2005:32f.).

Über 50% des schroffen und tiefeingeschnittenen Geländes der Cinque Terre weisen Hangneigungen von über 30° auf. Flache Gebiete fehlen praktisch vollständig. Diese natürliche Morphologie ist der Grund für die, an diese Bedingungen angepasste und zugleich die Landschaft prägende, Wirtschaftsweise der vergangenen Jahrhunderte durch den Terrassenbau. Die hohen Hangneigungen führen in Kombination mit Landnutzung und dem Niederschlagsregime der Region zu einer erhöhten Bedeutung von gravitativen und fluvialen Prozessen. Dies zeigt sich insbesondere in der Häufigkeit, mit der im Untersuchungsgebiet Erdbeben, Geländeabbrüche oder Schuttströme auftreten (BRANDOLINI 2017:238f.).

3.2 Landnutzung, Landnutzungswandel und Vegetation

Die Entwicklung des besonderen Kulturraumes Cinque Terre war in der Vergangenheit eng mit der Geschichte des Weinbaus verbunden und ist es noch heute. Aus diesem Umstand resultierte auch die Notwendigkeit zur Umwandlung der natürlichen Hänge und ihre Urbarmachung durch eine heute über tausendjährige Tradition des Terrassenbaus in den heutigen Cinque Terre (AGNOLETTI et al. 2012:41).

Eine Blütezeit des Weinbaus bedingte im Verlauf der zweiten Hälfte des 19. Jh. die Ausweitung des Terrassenbaus bis in höhere Hanglagen. Zugleich führten Bevölkerungswachstum, Beschäftigungsknappheit und Missernten wiederholt zu Aus- und Abwanderungswellen. Den mit Abstand größten und bis in jüngste Zeit andauernden Bevölkerungsrückgang verzeichnet das Gebiet jedoch seit den 1950er Jahren. Intensivierung der Landwirtschaft, Sogwirkung der wirtschaftlichen Zentren, Marktentwicklung und die ungünstigen Wirtschaftsbedingungen für Mensch und Maschine in den bergigen Regionen erzeugten so seit den 1970er Jahren einen Verlust von 70% der land- und fischereiwirtschaftlichen Produktion. Dieser nun mehr als 40 Jahre andauernde Trend der Entvölkerung des ländlichen Raumes und der fehlenden Instandhaltung der Terrassenstrukturen reduzierte die bewirtschafteten Rebhänge auf etwa 100 ha von ursprünglich 1400 ha Ende des 19. Jahrhunderts (AGNOLETTI et al. 2012:42f.). Wie nahezu im gesamten Mittelmeerraum, ist damit auch die Vegetation der Cinque Terre durch eine jahrhundertelange Nutzung der Landschaft durch den Menschen geprägt. Die landbedeckende Vegetation ist während der besonderen Historie der Landschaft verändert worden und unterliegt seit dem Rückgang der traditionellen Wirtschaftsformen einer erneuten Transformation.

Die Vegetation der Region Ligurien wurde von NOWAK (1987) in großem Maßstab untersucht. RICHTER (1989) untersuchte in seiner vergleichenden Abhandlung die Vegetationsentwicklung auf Rebbrachen innerhalb eines begrenzten Raumausschnitts der Cinque Terre, während sich LINGENHÖHL (2005) ausführlich mit der Vegetation und Phytodiversität innerhalb des Nationalparks beschäftigte. Auf letztere Untersuchung gehen viele in dieser Studie getätigte Annahmen zur Vegetation des Untersuchungsgebietes zurück.

Die Vegetation der Cinque Terre lässt sich abhängig von ihrer mesoklimatischen Differenzierung in drei thermische Höhenstufen einteilen (CARL & RICHTER 1989). Die marin beeinflusste thermomediterrane Stufe der küstennahen Gebiete reicht bis in eine durchschnittliche Höhe von 100 m ü.d.M. und ist charakterisiert durch spärliche Vegetation und niedrige Macchien mit Baum-Wolfsmilch (*Euphorbia dendroides*) und neophytische Opuntien (*Opuntia ficus-indica*). Oberhalb der Küstenvegetation schließen sich die bis in Höhen von etwa 400 bis 500 m reichenden mesomediterranen Mittellagen an. Aufgrund ihrer günstigen Klimabedingungen sind diese Bereiche seit Jahrhunderten Ort des Weinbaus und der Olivenkulturen. Im Zuge des bis heute stattfindenden Nutzungswandels wurden diese landwirtschaftlichen Nutzflächen vielerorts durch Macchien oder Wald ersetzt. Das Nebeneinander von Bewirtschaftung und Folgevegetation unterschiedlichen Alters macht die mesomediterrane Zone heute zum diversesten Bereich der Cinque Terre. Die durch unterschiedliches Alter, Randeffekte oder andere Einflüsse wie Feuer differenzierte Pflanzenformation weist unterschiedliche Artzusammensetzungen auf. Diese reichen von Leguminosen im *Calicotomo-Myrtetum*, über Brombeergestrüpp bis zu den von Baumheide (*Erica arborea*) beherrschten Aspekten des *Erico-Arbutetum*. Ohne Störungseinfluss entwickeln sich diese Flächen durch Aufwuchs von *Pinus pinaster* schließlich zu Kiefern- und Kiefern-mischwäldern oder bringen als Klimaxstadium schließlich Bestände von Steineichen (*Quercus ilex*) hervor (LINGENHÖHL 2005). Auf Höhen ab 500 m folgen schließlich die supramediterranen Kammlagen. Dominiert werden sie von Kastanien-Laubwäldern mit der als „Brotfrucht“ in Italien eingeführten Esskastanie (*Castanea sativa*) und Laubmischwäldern mit Kastanie und Flaumeiche (*Quercus pubescens*) (LINGENHÖHL 2005:46).

Durch ihre Bedeutung als Indikator für den fortschreitenden Nutzungswandel, als auch für den Zustand von Terrassenstrukturen, erfuhr die Sukzessionsdynamik der Rebbrachen schon vor einigen Jahren eine eingehende Betrachtung. Beschreibungen der Sukzession auf aufgegebenen Rebflächen und Ölbaumhaine in den Cinque Terre finden sich etwa bei RICHTER (1989), RICHTER & BLOCK (2001) und LINGENHÖHL (2005). Nach dem anfänglichen Stadium der Brachsukzession, den die bereits im bewirtschafteten Zustand vorhandenen Krautgesellschaften dominieren (*Stellarietae mediae*), über *Stipo-Brachypodietea dystachyae* kommt es auf Weinflächen nach etwa 10 - 15 Jahren (RICHTER & BLOCK 2001), unter begünstigten Umständen bereits nach fünf bis sieben Jahren (LINGENHÖHL 2005:126), zu einer vollständigen Besiedlung durch Brombeere (*Rubus ulmifolius*). Bleibt diese aus, können die Flächen in wenigen Fällen durch Kiefernaufwuchs direkt in die Vegetationsgesellschaft des *Quercetum ilicis pinetosum* übergehen. In vielen Fällen werden die Brombeergebüsche, etwa 15 Jahre nach der Nutzungsaufgabe, von den ausgedehnten Baumheide-Vorkommen des *Erico-Arbutetum* abgelöst. Diese auffälligen Flächen sind demnach ein Indikator von Brachestadien zwischen 15 und 30 Jahren, bis auch sie zunehmend durch Kiefernaufwuchs ihren Charakter ändern. Die Nutzungsaufgabe der heute mit Kiefern und Steineichen bewachsenen Terrassenflächen liegt zum Teil 50 - 60 Jahre zurück. Die Wiederbewaldung der aufgegebenen Standorte geht insgesamt jedoch eindrucksvoll schnell vonstatten, sodass das Ende der Sukzession nach 40 – 60 Jahren erreicht ist (RICHTER & BLOCK 2001:40).

4 Daten und Methodik

4.1 Übersicht

Abb. 5 stellt in verkürzter Form die bedeutendsten Stationen im methodischen Ablauf der Studie dar. Die gewählte Vorgehensweise kann als *Multi-Source-Ansatz* (vgl. GISLASON et al. 2006:294) einer überwachten und pixelbasierten Random Forest-Klassifikation beschrieben werden. Neben den multispektralen Sentinel-2-Daten wurden auch abgeleitete Texturmaße und DEM-Produkte verwendet. Die Klassifikation erfolgte zu Analysezielen in einer Vielzahl an Konstellationen und Wiederholungen mit dem Ziel, das im Rahmen des Ansatzes bestmögliche Variablenset zu ermitteln.

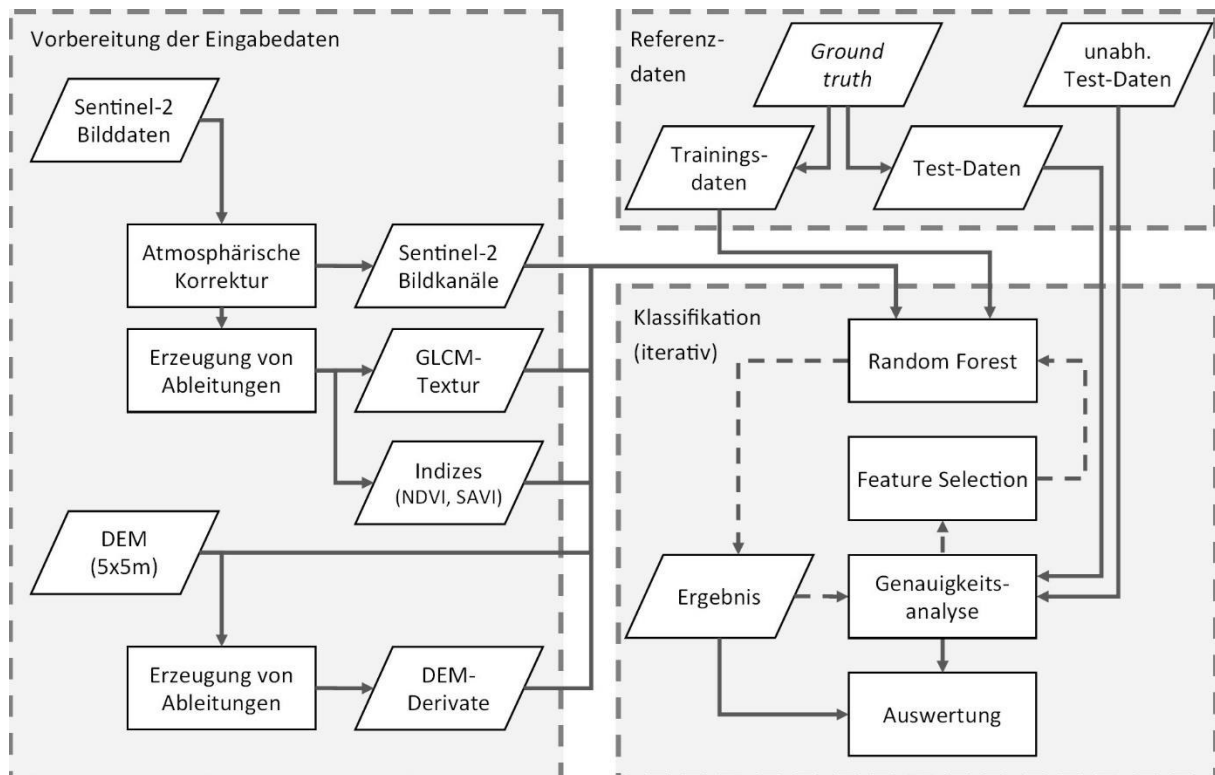


Abb. 5: Übersicht zu den wichtigsten Arbeitsabläufen der Datenverarbeitung.

4.2 Daten und Preprocessing

4.2.1 Sentinel-2-Satellitenbilddaten

Zentraler Datensatz für die Bildklassifikation sind die multispektralen Bilddaten der Sentinel-2-Satelliten. Von den insgesamt dreizehn verfügbaren Spektralkanälen (Bänder) wurden alle Kanäle mit der geometrischen Auflösung von 10m und 20m verwendet. Der Datensatz umfasst damit die Kanäle des sichtbaren Lichts (B2, B3, B4), des nahen Infrarots (B8 und B8a) des *Red edge* (B5, B6, B7) und jene des kurzwelligen Infrarots (B11 und B12).

Nach eingehender Überprüfung der Sentinel-2-Bildszenen für den Zeitraum von November 2016 bis Oktober 2017 hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit fiel die Wahl auf die Bilddaten des 03. Juli 2017. Diese Aufnahme weist weder Wolkenbedeckung, noch ausgeprägte Reliefschatten auf und unterscheidet sich zeitlich nur um wenige Tage von den sehr hochauflösenden Luftbildern aus Google Earth (für die Cinque Terre zumeist 07.07.2017), die für die Erfassung von Referenzdaten herangezogen werden (s. 4.4.2). Unterstützend wurde zusätzlich eine Bildszene mit dem Aufnahmedatum des 08. März 2017, stellvertretend für die Zeit vor dem Blattaustrieb von *Castanea sativa* herangezogen (s. 4.3.2).

Die Bilddaten wurden unter Verwendung des Sen2Cor-Prozessors (v.2.4.0 für Windows, eigenständige Installation) (LOUIS et al. 2016) einer atmosphärischen Korrektur unterzogen und so von *Top-Of-Atmosphere* (TOA) zu *Bottom-Of-Atmosphere* (BOA) (Level 2A) vorverarbeitet (vgl. LOUIS et al. 2016:1). Neben der standardmäßigen atmosphärischen Korrektur wurde weiterhin die Korrektur unter Verwendung eines digitalen Geländemodells (*terrain correction*) durchgeführt. Zu diesem Zweck bietet Sen2Cor die Option zur Verwendung von SRTM-Daten mit einer räumlichen Auflösung von 90x90 m. Von einer Nutzung höher aufgelöster Geländemodelle wurde abgesehen, da das Korrektur-Verfahren zum Zeitpunkt der Studie bisher nur unter den zuvor genannten Einstellungen evaluiert wurde (MÜLLER-WILM et al. 2017:20).

4.2.2 Digitales Geländemodell

Digitale Höhendaten, frei verfügbar im Geoportal der Region Ligurien (REGIONE LIGURIA 2017a), liegen als digitales Geländemodell (DEM) mit einer räumlichen Auflösung von 5 m vor. Die mehrere Rasterdatensets umfassenden DEM-Daten wurden in SAGA (*System for Automated Geoscientific Analysis*) (CONRAD et al. 2015) zusammengefügt, auf die Ausdehnung der Satellitenbilddaten (*Subset*) zugeschnitten und auf deren geometrische Auflösung von 10 m angepasst (*Resampling*). Datenfehler im Geländemodell, sogen. Senken, wurden automatisch detektiert und gefüllt.

4.3 Abgeleitete Variablen (Derivate)

4.3.1 Textur-Variablen (GLCM)

Textur-Maße sind der Versuch, Eigenschaften jenseits der spektralen Charakteristika von Einzelpixeln aus Bilddaten herauszuarbeiten. Ziel ist es, weitere Aspekte des menschlichen Sehens, wie etwa das Erkennen von Kanten, Kontext oder Varianz von Grauwerten abzudecken und für die automatisierte Bildanalyse nutzbar zu machen (RODRIGUEZ-GALIANO et al. 2012a:93). Eine der bekanntesten Varianten der Textur-Variablen ist die sogenannte *Gray-Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) (HARALICK et al. 1973). Diese Variablen basieren auf dem raumabhängigen Vorkommen von Grauwerten eines Bildausschnittes und werden als unterschiedliche Statistiken zweiter Ordnung innerhalb eines quadratischen Kernelfensters mit festgelegter Größe für den jeweils zentralen Pixel berechnet (JENSEN 2016:345). In verschiedenen Studien zur Landbedeckungsklassifikation konnten GLCM-Features erfolgreich zur Steigerung der Klassifikationsgenauigkeit eingebunden werden (z.B. JOHANSEN et al. 2007, RODRIGUEZ-GALIANO et al. 2012a, KABIR et al. 2013; TASSETTI et al. 2010).

Für diese Studie wurden zehn der von HARALICK et al. (1973) postulierten Textur-Maße verwendet: verwendet: *Contrast*, *Homogeneity*, *Dissimilarity*, *Angular Second Moment (ASM)*, *Energy*, *Entropy*, *MAX*, *GLCM Mean*, *GLCM Variance*, *GLCM Correlation*. Sie sind in der Open Source-Software SNAP (*Sentinel Application Plattform*) der ESA (SNAP 2017) implementiert. Dadurch, dass die Maße jeweils für jeden Sentinel-2-Bänder B2, B3, B4 und B8 in den Fenstergrößen 5x5, 7x7, 9x9 und 11x11 berechnet wurden ergibt sich eine Anzahl von insgesamt 160 Rasterdatensets. Die mehr oder weniger starken Korrelationen zwischen den GLCM-Statistiken machen eine spezifische Auswahl der für die Analyse wichtigsten Datensätze notwendig (CLAUSI 2002:58, BEEKHUIZEN & CLARKE 2010:128) (s. 4.6). Weiterführende Informationen zum Umgang mit GLCM-Features finden sich etwa bei HALL-BEYER (2017a, b).

4.3.2 Vegetationsindices

Vegetationsindices werden klassischerweise zu unterschiedlichen Analysen, darunter auch die Bildklassifikation, herangezogen (JENSEN 2016:325). Als Ableitungen aus den Sentinel-2-Daten wurden in dieser Studie der *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (vgl. ROUSE et al. 1974) sowie der *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (HUETE 1988), als Alternative zum NDVI, berechnet.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

$$SAVI = \frac{NIR-RED}{(NIR+RED+L)}(1 + L) \quad (2)$$

Beide Indices berechnen sich aus den Verhältnissen der zur Vegetationserfassung wichtigen Wellenlängenbereiche des roten Lichts (RED) und des Nahen Infrarots (NIR). Zur Berechnung des SAVI wird weiterhin ein Faktor (L) zur Reduzierung des Bodeneinflusses einbezogen. Für L wurde bei der Berechnung des SAVI die Standardeinstellung von 0,5 beibehalten. Als bitemporales Derivat zweier Aufnahmezeitpunkte wurde außerdem die Differenz der SAVI-Indices für die S2-Aufnahmen vom 03.07.2017 und dem 08.03.2017 berechnet. Das generierte Feature enthält somit Informationen über die Veränderung grüner Biomasse zwischen Frühjahr und Sommer. Dies stellt den Versuch dar, eine bessere Trennung der winterkahlen Kastanienbestände von den immergrünen Laubwäldern während der Klassifikation zu ermöglichen.

$$SAVI_{Change} = \frac{NIR_{Sommer}-RED_{Sommer}}{(NIR_{Sommer}+RED_{Sommer}+L)}(1 + L) - \frac{NIR_{Frühjahr}-RED_{Frühjahr}}{(NIR_{Frühjahr}+RED_{Frühjahr}+L)}(1 + L) \quad (3)$$

4.3.3 Ableitungen des digitalen Geländemodells

Neben Datenderivaten, die aus den Satellitenbilddaten mehr oder weniger direkt abgeleitet werden, zählen vom Sentinel-2-Sensor unabhängige Hilfsdaten zu den unterstützenden Variablen von Landbedeckungsklassifikationen. Vor allem Höhendaten und ihre Ableitungen stellen häufig wertvolle Hilfsvariablen dar, da sie Informationen über höhen- und positionsabhängige Eigenschaften von Bedeckungsklassen bereitstellen können. Auf Grundlage des vorliegenden Geländemodells wurden die in Tab. 1 aufgestellten Variablen in SAGA erzeugt.

Tab. 1: Übersicht zu den berechneten DEM-basierten Variablen.

DEM-Feature	Beschreibung
DEM	Kontinuierliche Höhendaten (Digitales Geländemodell 5x5 m)
Slope	Neigungswinkel der benachbarten DEM-Rasterzellen (TRAVIS et al. 1975)
Aspect	Exposition der DEM-Rasterzellen in 0-360° (TRAVIS et al. 1975)
Topographic Wettness Index (TWI)	Index für den topographischen Kontrolleinfluss auf hydrologische Prozesse (BOEHNER et al. 2002)
Topographic Ruggedness Index (TRI)	Maß der topographischen Heterogenität zwischen benachbarten Rasterzellen (RILEY et al. 1999)
LSfactor	Faktor der Hanglänge, <i>slope length</i> (LS); Teil der <i>Universal Soil Loss Equation</i> (USLE) (MOORE et al. 1991)
Valley Depth	Vertikale Distanz zur Tiefenlinie
Vertical Distance to Channel Network	Invertierte vertikale Distanz zur Tiefenlinie

4.4 Trainings- und Testdaten

4.4.1 Referenzdaten

Für den Prozess der Trainings- und Testdatensammlung, wurden unterschiedliche Datensätze herangezogen. Darunter Bodennutzungsdaten (*Uso del Suolo*) von 2015 (REGIONE LIGURIA 2017b), Infrarotluftbilder aus dem Jahr 2016 (WMS-Dienst) (REGIONE LIGURIA 2017c), sehr hochauflösende Luftbilddaten und 3D-Geländedarstellung aus den Digital-Globe-Bilddatensätzen von Google Earth (GOOGLE EARTH 2017). Weiterhin wurde zur Gewinnung von Referenzinformationen auf bestehende Beschreibungen und Kartierungen innerhalb des Untersuchungsgebietes zurückgegriffen. Zu diesen Literaturreferenzen und zugehörigen Kartendarstellungen gehören die Vegetationsaufnahmen von NOWAK (1987) und

LINGENHÖHL (2005), Untersuchungen an Brachflächen von CARL & RICHTER (1989), sowie die Landnutzungskartierung von CEVASCO et al. (2013) für das Vernazza-Einzugsgebiet.

4.4.2 Klassifikationssystem

Das für die Bildklassifikation verwendete Kategoriensystem (Klassifikationssystem) mit insgesamt 13 Bedeckungsklassen (Tab. 2) ist das Ergebnis eines Abwägungsprozesses zwischen Informationsgehalt der Referenzdaten, ihrer Adaption auf die Bilddaten und den Eigenschaften der digitalen Kategorien im Sinne von Repräsentativität und Klassentrennbarkeit. Vegetationskundlich betrachtet stützt sich das erstellte Klassifikationssystem vor allem auf die Untersuchungen von LINGENHÖHL (2005) und versucht wesentliche Aspekte der Einordnungen auf spektral abgrenzbare Bedeckungskategorien zu übertragen. Hierzu wurden Klassen zusammengeführt, erweitert oder auch gänzlich ignoriert. Nur durch diese Generalisierung ist es möglich, ein in der angestrebten Bildklassifikation verwendbares Kategoriensystem zu erhalten. Limitiert wurde die Vorgehensweise vor allem durch nicht eindeutig zu bestimmende Bedeckungssituationen oder Widersprüche innerhalb der Referenzdaten.

Tab. 2: Klassifikationssystem mit den verwendeten Bedeckungskategorien.

Klassenname	Code	Beschreibung
Kiefernbestände	PIN	Durch <i>Pinus pinaster</i> und/oder deren Aufwuchs dominierte Flächen.
Winterkahle Baumbestände	CAS	Vorwiegend durch <i>Castanea sativa</i> gebildeter Bestand. Vor allem in den Kammlagen verbreitet.
Immergrüne Laubbaumbestände	GRE	Umfasst sowohl reine Bestände von <i>Quercus ilex</i> , sowie gemischte Laubwaldareale u.a. mit <i>Quercus pubescens</i> . <i>Castanea sativa</i> kann enthalten sein, dominiert jedoch nicht die Reflexionswerte.
Baumheide	ERI	Durch flächenhafte Vorkommen von <i>Erica arborea</i> charakterisierte Macchie. Vorkommen insbes. auf Brachflächen. Häufig mit Aufwuchs von <i>Pinus pinaster</i> .
Andere Macchie	MAC	Macchien und Strauchvegetation unterschiedlicher Ausprägung und Wuchshöhe. Stärker von Myrthen, Pistazien, Euphorbien, <i>Rhamnus alaternus</i> und anderen Arten dominiert als ERI. Sowohl auf Brachflächen als auch natürliche Vorkommen.
Küstenmacchie	KUE	Macchie der thermomediterranen Zone im Einfluss der Küste. Botanisch von MAC durch Vorkommen von <i>Euphorbia dendroides</i> und <i>Pistazia lentiscus</i> zu trennen. Zum Teil mit Beständen von <i>Quercus ilex</i> , die bis in Küstennähe. Klasse letztendlich nur durch Nähe zur Küste in Bilddaten abgrenzbar.
Gebüsch	GEB	Zumeist dichte Vegetationsdecke aus Polykormonen wie Brombeere (<i>Rubus ulmifolius</i>) und anderen Arten. Begleitvegetation entlang von Wegen oder Straßen. Auf Rebflächen meist frühes Brachestadium mit <i>Rubus ulmifolius</i> .
Tiefenlinie	TFL	Vegetation der Tiefenlinien und feuchteren Talbereiche, sonst oft wie GEB. Einzelstandorte mit <i>Alnus glutinosa</i> möglich.
Spärliche Vegetation	SPR	Bereiche mit lückenhaftem Bewuchs und höherem Einfluss von offenem Boden und Gestein. Auch Garrigueformation auf Serpentin im Norden des USG (Punta Mesco-Halbinsel).
Wein	WEI	Flächen mit Wein im Spalier- oder Pergolaanbau. Insbesondere auf terrassierten Hangbereichen. Zum Teil jedoch nicht von Gemüseanbau zu unterscheiden.
Olivien	OLI	Von Ölbäumen bestandene Flächen, darunter sowohl bewirtschaftete Olivenhaine, als auch Brachflächen unterschiedlichen Alters mit <i>Olea europaea</i> . Je nach Art und Deckung der Begleitvegetation sehr divers.
Ohne Vegetation	NOV	Vegetationsfreie Bereiche mit massivem Gestein, lockerem Schutt oder offenem Boden. Umfasst auch Strandbereiche oder vegetationsfreie Schuttflächen im Bereich von Rutschungen.
Infrastruktur	INF	Wohnbebauung, Straßen und Parkplätze.

4.4.3 Stichprobendesign

4.4.3.1 Trainings- und Testdaten

Da die Konzipierung der vorliegenden Studie keine Sammlung von Felddaten im Sinne einer *Ground Truth*-Datenerhebung vorsah, musste das Stichprobendesign an den Informationsgehalt der zur Verfügung stehenden Referenzdaten angepasst werden. Aus diesem Grund wurde das klassische Sammeln von Trainingspixeln in Form von Polygonen mit als repräsentativ erachteten Pixelclustern angewendet. Vor der Konvertierung in zentroidale Punktdaten der einzelnen Referenz-Pixel wurden die Trainingsdaten auf der Ebene der Polygone durch Zufallsauswahl in ein Trainings-Set (~70%) und ein Validierungs-Set (~30%) für die spätere Kreuzvalidierung, im Folgenden als *abhängige Validierung* bezeichnet, aufgetrennt (siehe 4.7). Auf diese Weise soll eine zusätzliche Autokorrelation der ohnehin geclusterten Daten vermieden werden (vgl. BELGIU & CSILLIK 2018:512). Eine Übersicht über Trainings- und abhängige Testdaten gibt Tab. 3.

Tab. 3: Umfang von Trainings- und Referenzdaten zur Kreuzvalidierung auf Polygon- und Pixelebene.

Klasse		Training		Validierung	
		Polygone	Pixel	Polygone	Pixel
Kiefern	PIN	29	2581	12	788
Winterkahle Laubbäume	CAS	13	3237	6	1144
Immergrüne Laubbäume	GRE	21	1689	9	823
Baumheide	ERI	15	910	6	256
Andere Macchie	MAC	17	1533	7	688
Küstenmacchie	KUE	14	739	6	235
Gebüsch	GEB	12	412	6	150
Vegetation der Tiefenlinien	TFL	11	250	4	107
Spärliche Vegetation	SPR	8	434	2	186
Wein	WEI	22	931	9	359
Oliven	OLI	14	766	6	297
Ohne Vegetation	NOV	14	617	4	292
Infrastruktur	INF	18	840	8	272
Gesamt		209	14939	85	5597

Um eine Abweichung der Proportionalität der Trainingsklassen von den realen Flächenanteilen des Untersuchungsgebiets begrenzt zu halten, wurden die Anteile mit korrespondierenden Klassen aus der für Ligurien vorliegenden Landnutzungskartierung von 2015 (REGIONE LIGURIA 2017b) verglichen. Ein annähernd direkter Vergleich konnte jedoch nur in wenigen Fällen, etwa bei Nadelwald, angestellt werden.

4.4.3.2 Unabhängige Validierung mit geschichteter Zufallsstichprobe

Im Gegensatz zur Kreuzvalidierung durch ungenutzte aber statistisch abhängige Trainingsdaten stellt die Überprüfung mit Hilfe von unabhängigen Zufallsstichproben ein objektiveres Genauigkeitsmaß für thematische Klassifikationsergebnisse dar (CONGALTON 1991:36). Zur Überprüfung der Genauigkeit des Klassifikationsergebnisses wurden dazu insgesamt 975 geschichtete Zufallsstichproben erzeugt.

Die Schichtung der Stichprobe soll die Stichprobenanzahl von 30 Pixeln pro Klasse garantieren und so die Einbeziehung der geringvertretenden Klassen gewährleisten. Stichproben, die entweder keiner Bedeckungsklasse zugeordnet werden konnten oder deren Einordnung durch fehlende Referenzdaten

äußerst spekulativ ausgefallen wäre, wurden aus dem Set entfernt. Das verbleibende unabhängige Validierungsset umfasst abschließend insgesamt 944 Stichproben zu mindestens 34 Samples pro Klasse (Tab. 4).

Tab. 4: Anzahl und Verteilung der geschichteten Zufallsstichprobe nach Klassen.

Klasse	Code	Anzahl (Pixel)	Klasse	Code	Anzahl (Pixel)
Kiefern	PIN	97	Vegetation der Tiefenlinien	TFL	34
Winterkahle Laubbäume	CAS	53	Spärliche Vegetation	SPR	65
Immergrüne Laubbäume	GRE	129	Wein	WIE	44
Baumheide	ERI	87	Oliven	OLI	45
Andere Macchie	MAC	111	Ohne Vegetation	NOV	78
Küstenmacchie	KUE	48	Infrastruktur	INF	73
Gebüsch	GEB	80	Gesamt		944

4.5 Random Forest-Klassifikation

Die praktische Durchführung von Modellbildung und Klassifikation mittels Random Forest wurde für diese Studie zum Zweck der Analyse und Evaluation von Daten und Methode in der Open-Source-Statistiksoftware R (R CORE TEAM 2017) umgesetzt. Durch die Nutzung der R-Packages „randomForest“ (LIAW & WIENER 2002), „raster“ (HIJMANS 2017), „sp“ (PEBESMA & BIVAND 2005) sowie „rgdal“ (BIVAND et al. 2017) konnte die Einbindung von Raster- und Geodaten sowie die Durchführung der Random Forest-Klassifikationen in R durchgeführt werden.

Da jede RF-Klassifikation, aufgrund ihres Zufallseinflusses (s. 2.4) trotz gleicher Trainings- und Eingabedaten, leicht unterschiedliche Ergebnisse liefert, empfiehlt es sich zu diagnostischen Zwecken, die Klassifikationsergebnisse mehrerer Durchläufe zu mitteln. Zur Automatisierung dieses Vorgangs wurde auf die Schleifen-Funktion des von MILLARD & RICHARDSON (2015) veröffentlichten R-Skriptes zurückgegriffen. Alle Klassifikationen, die zu Vergleichszwecken durchgeführt wurden, waren mit einer Anzahl von tausend Entscheidungsbäumen ($Ntree = 1000$) und einer einzigen zufälligen Spaltungsvariable ($Mtry = 1$) für die Generierung der *Split-Points* der Bäume justiert. Die relativ hohe Anzahl an Bäumen soll eine robuste Schätzung garantieren, gleichzeitig kann ein höherer Wert für $Ntree$ keinen Negativeinfluss auf die Modellgenauigkeit haben (BELGIU & DRĂGUȚ 2016:25). Die Wahl von $Mtry$ geschieht zugunsten von vergleichbaren Ergebnissen und zur Vermeidung einer gesteigerten Gefahr für eine Überanpassung des Modells. Erst zum Ende der Analysephase wurde der Wert für $Mtry$ angepasst, um ein bestmögliches Endergebnis zu erhalten.

4.6 Feature Selection

Ziel der Variablenauswahl, bzw. der sogenannten *Feature Selection*, ist die Ermittlung einer möglichst geringen Anzahl an effektiven Eingabevariablen, d.h. die Reduzierung ohne Verlust an wichtigen Informationen. Durch den Prozess soll der Rechenaufwand des Modells verringert und gleichzeitig die Genauigkeit der Klassifikation verbessert werden. Zu diesem Zweck wurde die Variablenwichtigkeit, in Form der Maße *Mean Decrease in Accuracy* (MDA) sowie *Mean Decrease in GINI* (MDG), für jede der insgesamt 181 initial verwendeten Variablen herangezogen. Weiterhin wurde für jede Landbedeckungskategorie die klassenspezifische Variablenwichtigkeit in Form der MDA abgeleitet. Zur Übersichtlichkeit und um Veränderungen innerhalb des Modells mit zunehmender Entfernung von Redundanz und Rauschen im Auswahlprozess zu berücksichtigen, wurde mit jeder erfolgten Reduzierung der Variablen auf die Wichtigkeitsmaße des jeweils verkleinerten Datensets zurückgegriffen.

Zur Reduzierung der Dimensionalität des Datensatzes wurden die Eingabevariablen sukzessiv um zunächst jeweils 10% ihrer unwichtigsten Features, d.h. jene mit der niedrigsten MDA-Wertung, reduziert und jeweils die gemittelten Fehlerraten aus fünf Klassifikationsdurchläufen ($Ntree=1000$, $Mtry=1$) des jeweils verkleinerten Datensatzes ermittelt.

Um die unterschiedliche Bedeutung der ausgewählten Landbedeckungsklassen für die Fragestellung dieser Studie zu berücksichtigen, wurde die Entscheidung über die zu löschenden Variablen nicht allein durch das Maß der MDA für das gesamte Modell bestimmt, sondern die Variablenwichtigkeiten für jede einzelne Bedeckungsklasse herangezogen. Variablen, die sich unter den wichtigsten Variablen für eine Klasse befinden, wurden vorwiegend vor einer Löschung bewahrt. Auf diese Weise soll das Aussortieren von Variablen verhindert werden, die für die Gesamtgenauigkeit von eher geringer Bedeutung sind und dennoch Abgrenzungsmerkmale für bestimmte Bedeckungsklassen liefern. Zur detaillierteren Betrachtung der ermittelten Wichtigkeitsmaße siehe SANDNER (2018).

Neben der Ermittlung von Wichtigkeitsmaßen wurde außerdem ein Rangkorrelationstest nach Spearman für jede paarweise Variablenkombination durchgeführt. Die Ergebnisse wurden genutzt, um stark miteinander korrelierte und daher redundante Variablen zu identifizieren und im Entscheidungsprozess zumeist jene mit der niedrigeren Feature-Wichtigkeit zu entfernen. Es wurden vor allem besonders starke Korrelationen von mindestens $r_s = > 0,9$ bzw. $r_s = < -0,9$ als Entscheidungskriterium verwendet, um jene Variablen zu konservieren, die zumindest einen Teil an potenziell zusätzlichen Informationen enthalten. Zur Bestätigung der Korrelation wurden außerdem die zugehörigen p -Werte überprüft. Nur Korrelationen mit einem p -Wert von $< 0,05$ (5%-Signifikanzniveau) führen zur Ablehnung der Nullhypothese (es besteht kein Zusammenhang der Variablen untereinander). Die Ergebnisse des Korrelationstests sind in der Anlage der dieser Veröffentlichung zugrundeliegenden Arbeit in digitaler Form enthalten (siehe SANDNER 2018).

Ausnahmen im Prozess der Variablenauswahl stellen jedoch Fälle von offensichtlich fehlerbeeinflussten Wichtigkeits-Einschätzungen des Modells dar. Diese wurden im Einzelfall durch die Hinzunahme von Zusatzinformationen aus der Literatur (vgl. CLAUSI 2002, HALL-BEYER 2017b) beurteilt. Indem die Klassifikationsgenauigkeit vor und nach dem Aussortieren einer bestimmten Variablen verglichen wurde, konnten zudem im Einzelfall Kosten-Nutzen-Entscheidungen getroffen werden. Diese Lösung wurde aufgrund ihres vergleichsweise hohen Zeit- und Arbeitsaufwands jedoch nur eingesetzt, wenn erhebliche Zweifel an den restlichen Auswahlkriterien bestanden.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die angewendete Methodik zur Variablenreduzierung keiner strengen und standardisierten Reglementierung unterworfen wurde. Einzelfallentscheidungen, bei denen eine Variable im Widerspruch zu einem der genutzten Auswahlkriterien aus dem Datensatz entfernt wurde, sind in dieser Vorgehensweise ausdrücklich nicht ausgeschlossen. Den Autoren ist bewusst, dass dadurch die Subjektivität der Analyse gesteigert und die Reproduzierbarkeit dieses Arbeitsschrittes verringert wird. Da jedoch nicht die systematische Evaluierung dieses Auswahlprozesses im Vordergrund dieser Studie steht, soll der Erfolg dieser Vorgehensweise lediglich anhand der entstandenen Genauigkeitsveränderungen bemessen werden (siehe 5.2).

4.7 Genauigkeitsanalyse

In dieser Studie wurde zur Evaluierung und Interpretation des Modells auf eine Kreuzvalidierung unter Verwendung der zuvor von den Trainingsdaten getrennten Testdaten zurückgegriffen (s. 4.4.3.1). Diese Art der Validierung wurde für den Vergleich des Klassifikationserfolges unterschiedlicher Datensets genutzt. Zusätzlich wurde das unabhängige Sampling mit insgesamt 944 zufällig über das Untersuchungsgebiet verteilten Validierungspunkten verwendet (s. 4.4.3.2). Diese objektivste der hier verwendeten Validierungsmethoden dient der Relativierung von Aussagen zur Modellgenauigkeit und um Rückschlüsse auf die Qualität der Trainingsdaten und das Kategoriensystem anzustellen.

Da Random Forest-Modelle, bedingt durch ihre Funktionsweise, stets eine Zufallskomponente enthalten, wurden die Genauigkeiten der geprüften Modelle bzw. Datenkombinationen stets auf Grundlage mehrerer Klassifikationsdurchläufe berechnet.

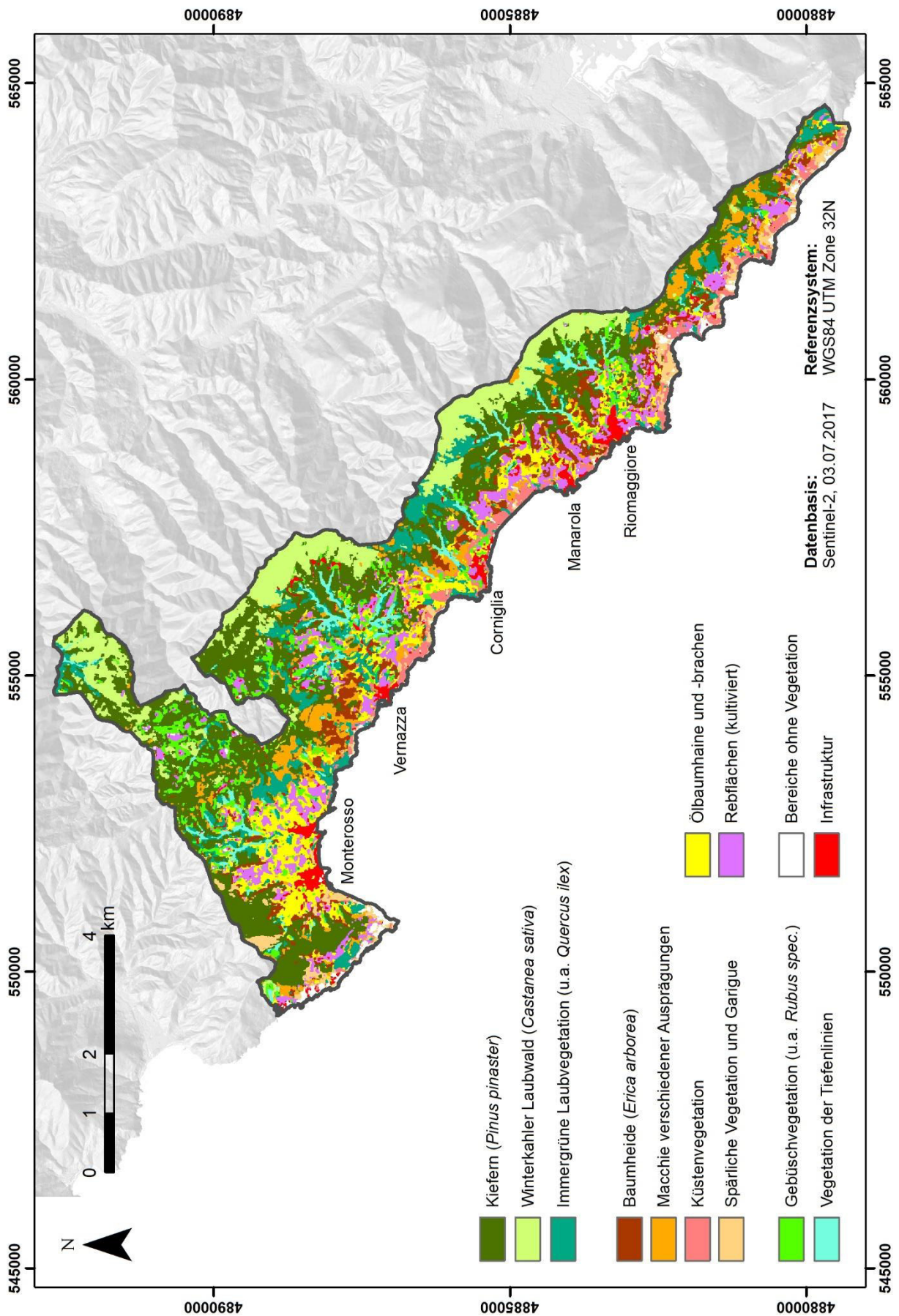


Abb. 6: Landbedeckung des Nationalparks Cinque Terre basierend auf Sentinel-2 Bilddaten und digitalen Höhendaten (REGIONE LIGURIA 2017a).

5 Ergebnisse

Die Landbedeckungsklassifikation für den Nationalpark Cinque Terre ist in Abb. 6 als thematische Karte dargestellt. Die Ergebnisse der Feature Selection und der iterativen Analyse der Klassifikationsgenauigkeiten werden im Folgenden beschrieben. Für eine ungekürzte Ergebnisdarstellung sei an dieser Stelle auf SANDNER (2018) verwiesen.

5.1 Variablenwichtigkeit

Als wichtige Größen bei der Auswahl bedeutungsschwerer Variablen fanden die Wichtigkeitsmaße *OOB-Mean Decrease in Accuracy (MDA)* und *Mean Decrease in Gini (MDG)* Verwendung. Zur Begrenzung des Arbeitsaufwandes wurden die Werte stets als "Momentaufnahme" aus einem Klassifikationsdurchlauf pro Reduzierungsstufe entnommen. Die sich aus den Maßen ergebende Rangfolge unter den Variablen wurde genutzt, um schrittweise die vermeintlich unwichtigsten Variablen aus den Eingabedaten zu entfernen.

Eine detaillierte Beschreibung und Diagramme zu den Wichtigkeitsmaßen der 30 höchstbewerteten Variablen für eine Klassifikation mit allen 181 Variablen sowie die Darstellung spezifischer MDA-Wichtigkeiten für die einzelnen Bedeckungsklassen finden sich in bei SANDNER (2018). Hervorzuheben sei an dieser Stelle die nahezu durchweg hoch eingestufte Wichtigkeit der Variable "Elevation" (unveränderte Höhendaten des digitalen Geländemodells).

Ebenfalls offensichtlich wurde eine gewisse Redundanz bei der Bewertung vieler Textur-Variablen. Die starke Korrelation innerhalb dieser Variablengruppe führte zu einem Verdrängen der Sentinel-Bänder und der DEM-Derivate auf die mittleren Rangplätze der Wichtigkeitsskala und muss bei der Variablenreduzierung berücksichtigt werden.

5.2 Variablenreduzierung

Unter Berücksichtigung der Variablenwichtigkeit und der Spearman-Rangkorrelation konnte das Variablenset kontinuierlich unter zugleich sinkender Fehlerrate der auf 23 Variablen reduziert werden (Abb. 7). Dies entspricht einer Reduktion um 87%. Erst bei weiterer Verkleinerung des Datensatzes wird ein Wiederanstieg der Fehlerrate festgestellt. Dieser Trend zeigt sich sowohl bei der Genauigkeitsermittlung durch abhängige Kreuzvalidierung, als auch durch die Überprüfung mit unabhängiger Zufallsstichprobe. In Tab. 5 sind die verbleibenden Variablen aufgelistet, die nach der durchgeführten Analyse als verbessertes „reduziertes“ Eingabedatenset angenommen werden.

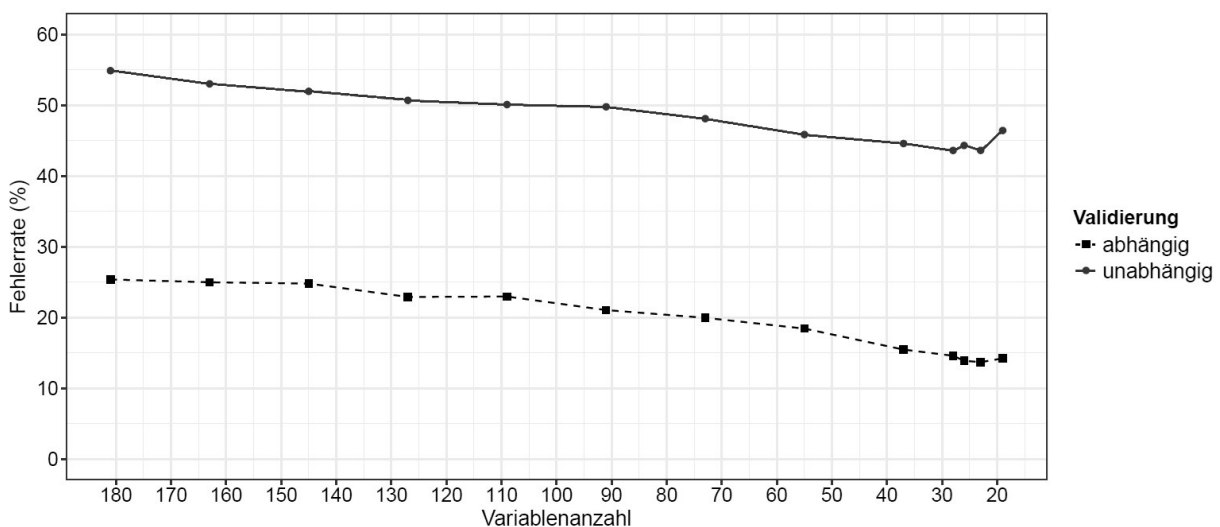


Abb. 7: Entwicklung der Fehlerrate aus abhängiger und unabhängiger Validierung mit zunehmender Reduzierung der Variablenanzahl (mittlere Fehlerraten von jeweils fünf RF-Iterationen).

Abweichungen innerhalb der gelisteten Variablen im Vergleich zur Rangordnung der Wichtigkeitsvariablen begründen sich auf den unter 4.6 beschriebenen zusätzlichen Auswahlkriterien der Korrelation oder Überprüfung der Genauigkeitsänderung, sowie der Veränderung der Wichtigkeitsmaße im Zuge der Variablenreduzierung.

Tab. 5: Nach Abschluss der Variablenauswahl verbleibende Features (V=23) im reduzierten Variablenset.

S2-Bänder	Indices	DEM-Features	GLCM-Features	S2-Bänder	Indices	DEM-Features	GLCM-Features
B2	SAVI	Elevation	B4_Contr_11x11	B6		LSfactor	B8_Var_9x9
B3	SAVI. change	Slope	B4_Corr_11x11	B8			B8_Contr_11x11
B4		Valley Depth	B4_Mean_11x11	B11			B8_Entr_11x11
B5		VertDistCN	B4_Var_x11	B12			B8_Corr_11x11

5.3 Klassifikationsgenauigkeiten

Mit der Durchführung von iterativen Random Forest-Klassifikationen mit unterschiedlichen Eingabedatensets können Klassifikationsgenauigkeiten, bzw. Fehlerraten, unterschiedlicher Eingabedatensets miteinander verglichen werden. Herausgearbeitet werden können so unterschiedliche Aspekte: (1) Der Genauigkeitsgewinn durch die Hinzunahme von Hilfsvariablen im Allgemeinen, sowie der Einfluss der Variablenreduzierung. (2) Der Anteil des Genauigkeitsgewinns von höhenbasierten Variablen, Textur-Variablen und der multitemporalen SAVI-Variable. (3) Der Einfluss der Verwendung der Terrainkorrektur während der atmosphärischen Korrektur der Sentinel-2-Bildkanäle.

5.3.1 Einfluss der Hilfsvariablen und der Variablenreduzierung

Unabhängig von der Art der Validierungsmethode zeigt sich, dass die Fehlerrate mit dem reduzierten Variablenset deutlich stärker gesenkt werden konnte, als durch eine unbegrenzte Verwendung der erzeugten Hilfsvariablen (Abb.8).

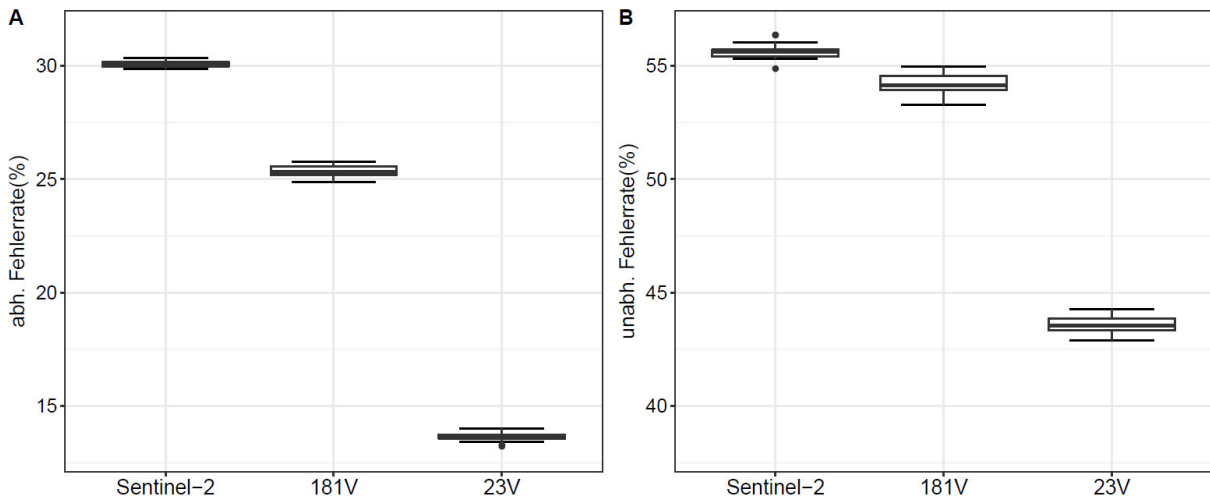


Abb. 8: Vergleich der Fehlerraten unterschiedlicher Eingabedaten in abhängiger Validierung (A) und unabhängiger Validierung (B) in Abhängigkeit vom Eingabedatenset: Sentinel-2 = alle Sentinel-2-Bänder, 181V = erweitertes Variablenset vor Reduzierung, 23V = erweitertes Variablenset nach Reduzierung (n=25).

Die Fehlerrate konnte so, im Vergleich zur Klassifikationsgenauigkeit, die allein durch Verwendung der Sentinel-Bänder erreicht wurde, um etwa 12 % (unabhängige Validierung) bzw. 16,4 % (abhängige Validierung) verringert werden. Der Genauigkeitsgewinn durch die Reduzierung der Variablen beträgt in beiden Betrachtungsweisen knapp mehr als 10%.

5.3.2 Einfluss der Variablengruppen und Vorverarbeitung

Der Vergleich des Einflusses bestimmter Variablengruppen auf die Klassifikationsgenauigkeiten zeigt, dass die Fehlerrate am deutlichsten durch die Verwendung der DEM-Variablen reduziert werden konnte (ca. 8%), während die Bitemporale SAVI-Variable zumindest in der unabhängigen Validierung eine geringe Verbesserung der Genauigkeit erzeugt. Auch ein positiver Einfluss der Terrain-Korrektur im Zuge der Vorverarbeitung der Satellitenbildszenen mit Sen2Cor bildet sich in den Fehlerraten der betrachteten Klassifikationsiterationen ab. Für eine detailliertere Beschreibung weiterer Ergebnisse und deren graphische Darstellung siehe SANDNER (2018).

Die aus den bisher beschriebenen Ergebnissen hervorgegangenen Klassifikationsgenauigkeiten liegen in der bestmöglichen ermittelten Klassifikation bei einer globalen, d.h. für die gesamte Klassifikation durchschnittliche Gesamtgenauigkeit von > 85% in der abhängigen Validierung. Eine objektivere Einschätzung der Gesamtgenauigkeit stellt die Genauigkeitsanalyse mittels unabhängiger Stichprobe dar. Die Fehlerrate, ermittelt durch unabhängige Validierung, ist mit 43,5% im Median um knapp 30% höher als die durch abhängige Validierung erhaltene.

5.4 Klassenspezifische Genauigkeiten und Fehlermatrix

Die bisher dargestellten Gesamtgenauigkeiten lassen nur sehr begrenzt Rückschlüsse auf die Genauigkeiten einzelner Bedeckungsklassen zu. Um die Ursachen der Klassifikationsfehler zu ergründen empfiehlt es sich, die Betrachtung der Klassifikationsgenauigkeiten für jede im Klassifikationssystem enthaltene Klasse einzubeziehen. Abb. 9 zeigt die Verteilung der klassenspezifischen Genauigkeiten in der unabhängigen Validierung.

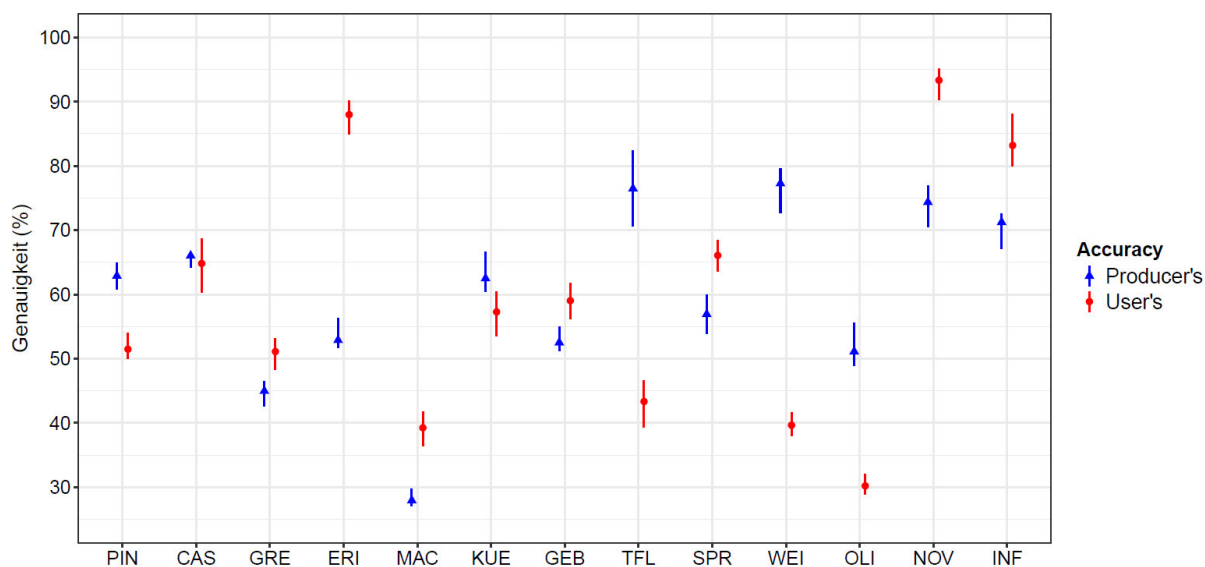


Abb. 9: Median und Spannweite der klassenspezifischen Producer's Accuracy (PA) und User's Accuracy (UA) aus unabhängiger Validierung mit 25 Klassifikations-Wiederholungen.

Dargestellt sind die Maße *Producer's Accuracy* (PA) und *User's Accuracy* (UA). Die *Producer's Accuracy*, ist ein Maß dafür, wie häufig in den Referenzdaten mit einer bestimmten Klasse bezeichneten Elemente auch wirklich als diese klassifiziert werden. Die PA macht somit Aussage über das Ausmaß an Auslassungsfehlern (*Errors of Omission*). Im Gegensatz dazu erfasst die *User's Accuracy* die Fehler der

fälschlichen Hinzunahme (*Errors of Commission*) und zeigt bei einer geringen Ausprägung an, dass viele Bildelemente, die einer bestimmten Kategorie zugeschlagen werden, in den Referenzdaten jedoch anderen Klassen zugeordnet sind. Unter Hinzunahme einer kompletten Fehlermatrix (*confusion matrix*) für eine einzelne RF-Klassifikation können zudem Aussagen über die Richtungen der Fehlklassifizierungen angestellt werden. Tab. 6 zeigt die Fehlermatrix einer Klassifikation des optimalen Variablensets (ntree = 1000, mtry = 1) erhalten durch unabhängige Validierung.

Klassen, die durch die Ergebnisse der unabhängigen Validierung (Abb. 9, Tab. 6) als überschätzt angesehen werden können, sind vor allem WEI, OLI und TFL. Sie weisen eine im Vergleich zur PA mind. um 20% niedrigere UA auf. Geringere Überschätzungen finden sich auch bei PIN und KUE.

Auffällig ist weiterhin die geringe PA der Klasse ERI. Eine größere Anzahl der Validierungsstichproben dieser Klasse wurde stattdessen als PIN klassifiziert. Weitere Fehlklassifikationen führten außerdem zu falschen Zuschlägen von ERI-Referenzen bei den Klassen OLI und MAC. Umgekehrt verhält sich die Klasse WEI, die durch Überschätzung vor allem auch dort klassifiziert wurde, wo SPR oder INF, seltener auch GEB, die Referenz darstellen.

Tab. 6: Konfusionsmatrix für eine Klassifikation mit reduziertem Variablenset, unabhängige Validierung (n=944, Kappa = 0,53).

Klasse	Referenzdaten												
	PIN	CAS	GRE	ERI	MAC	KUE	GEB	TFL	SPR	WEI	OLI	NOV	INF
PIN	59	5	13	18	9	0	3	0	3	0	3	3	1
CAS	7	35	5	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0
GRE	10	6	58	2	16	9	5	4	2	0	3	3	0
ERI	2	0	0	46	1	1	0	0	0	0	1	0	0
MAC	4	2	30	6	32	1	1	1	0	0	3	0	0
KUE	0	0	5	2	6	29	2	0	5	0	2	0	0
GEB	6	3	5	1	10	0	43	3	0	2	0	0	0
TFL	2	2	10	1	8	0	10	24	0	0	0	0	0
SPR	4	0	0	1	3	6	0	0	37	0	0	4	0
WEI	1	0	1	4	2	1	6	0	15	35	8	5	11
OLI	2	0	2	6	23	1	8	0	1	5	25	0	7
NOV	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	59	2
INF	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4	52
PA [%]	60,82	66,04	44,96	52,87	28,83	60,42	53,75	70,59	56,92	79,55	55,56	75,64	71,23
UA [%]	50,43	67,31	49,15	90,20	40,00	56,86	58,90	42,11	67,27	39,33	31,25	95,16	88,14

Die Klassen mit der höchsten Fehlerquote (MAC, OLI) weisen unterschiedliche Gründe für ihr schlechtes Abschneiden auf. Während MAC mit einer geringen PA (<30%) vor allem durch Fehlklassifizierungen an nahezu alle Vegetationsklassen an Genauigkeit verliert, ist OLI eine offensichtlich überschätzte Klasse mit einer schlechten UA (<32%), die insbesondere zur falschen Klassifikation bei anderen Klassen führt.

5.5 Visuelle Beurteilung

Ergänzend zur statistischen Auswertung kann die visuelle Interpretation ausgewählter Bildbereiche zum besseren Verständnis der Klassifikationsergebnisse beitragen.

Die starke Fragmentierung der Landschaft des Untersuchungsgebiets äußert sich insbesondere in den Bildbereichen, die die mittleren Hangbereiche abbilden (Abb. 10). Dennoch führt die räumliche Auflösung der Sentinel-Bilddaten automatisch zu einer Generalisierung kleinräumiger Unterschiede. Das Nebeneinander von Weinbau und Baumheide auf den Hangbereichen kann im Rahmen dieser Einschränkung relativ gut wiedergegeben werden. Die Klassifikation von Infrastruktur zeigt vor allem bei schmalen oder in diagonaler Richtung des Bildrasters verlaufenden Straßen wenig Erfolg. Schwer zu beurteilen ist die Verbreitung der Klasse OLI, da sie sowohl bewirtschaftete, als auch brachliegende

Flächen beinhaltet und zudem nur unsicher validiert werden konnte. Bei Betrachtung eines ausgewählten Hanges, aus dessen Bildbereich keine Trainingsdaten gewonnen wurden, lassen sich exemplarisch Aussagen über die Klassifikationseigenschaften machen.

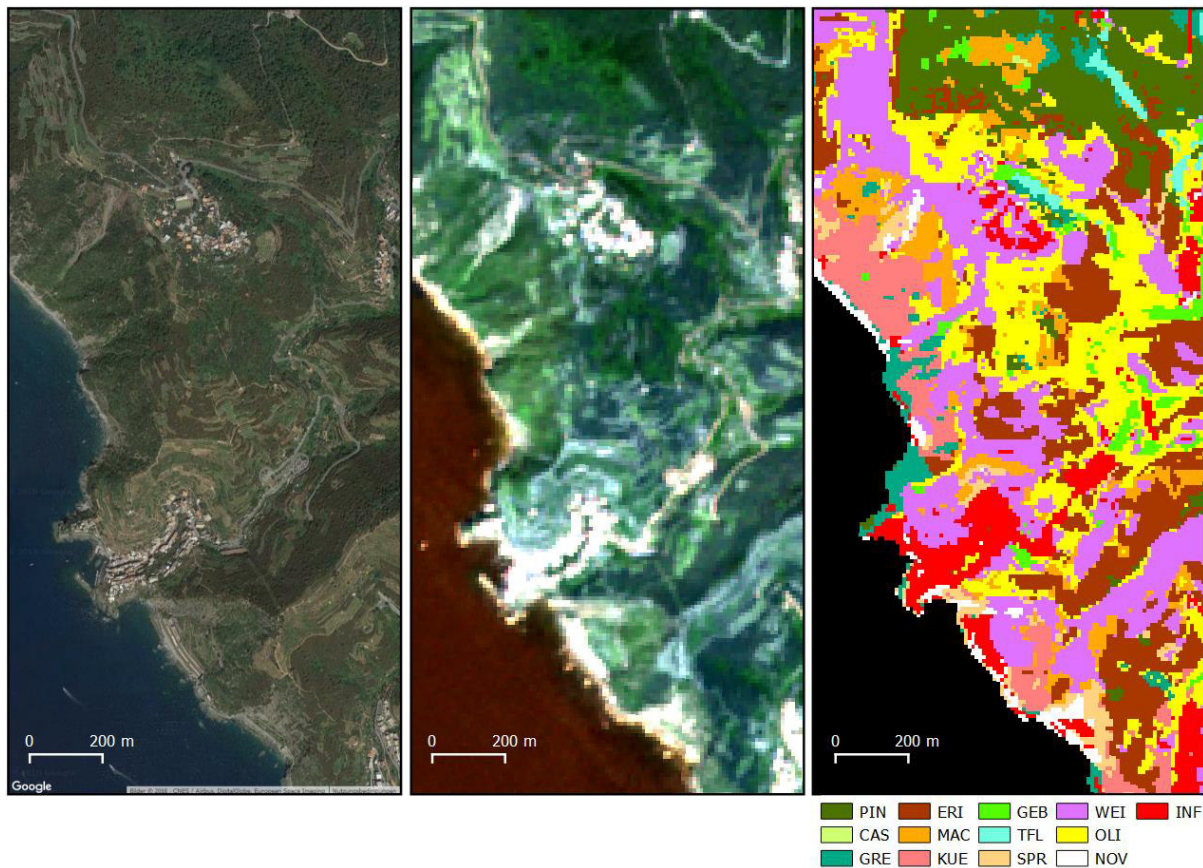


Abb. 10: Vergleich von Klassifikation und Bilddaten. Sehr hochauflösende Bilddaten (GOOGLE EARTH 2017), Sentinel-2-Bilddaten und RF-Klassifikation (v.l.n.r.).

Der in Abb. 11 dargestellte Hangbereich im Norden Manarolas weist die im Untersuchungsgebiet typische Koexistenz von bewirtschafteten Rebhängen und brachliegenden Flächen in unterschiedlichen Sukzessionsstadien auf. Größere, zusammenhängende Bereiche aus Brachen mit Baumheideanteil finden sich im Klassifikationsergebnis wider.

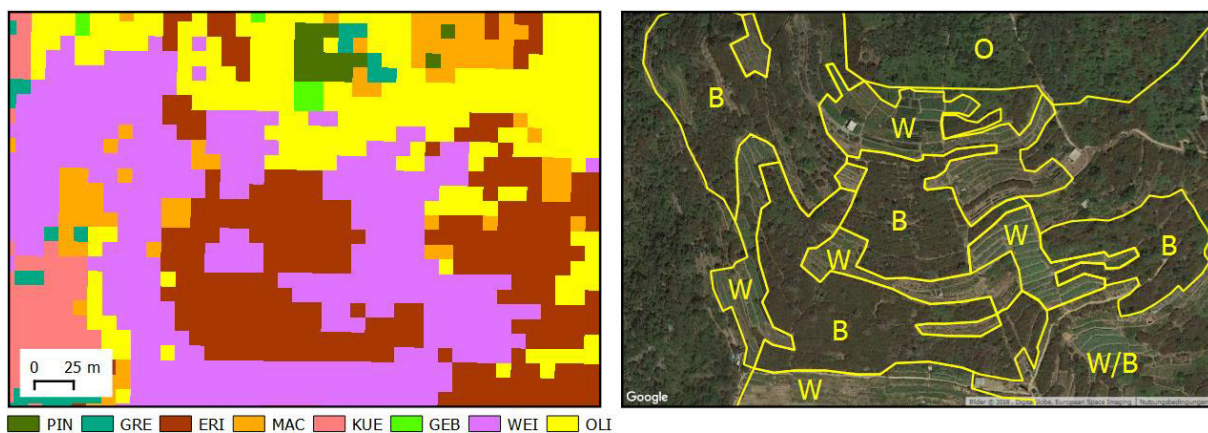


Abb. 11: Detailansicht eines Komplexes aus Reb- und Brachflächen im Norden von Manarola. Links: RF-Klassifikation. Rechts: Grobe Kartierung nach Google-Bilddaten (B = Brache, W = Wein, O = Oliven) (Datengrundlage: GOOGLE EARTH 2017).

Die Abbildung kleinräumiger Wechsel der Landbedeckung bzw. Landnutzung kann jedoch in den meisten Bildbereichen durch die begrenzte räumliche Auflösung der Sentinel-2-Bilddaten nicht erfolgen. Für Fehlklassifikationen sorgen außerdem Bereiche in denen brachliegende Flächen einen heterogenen Charakter mit kleinräumigen Unterschieden in Alter und Bedeckungsgrad der Sukzession aufweisen (Brachfläche im Nordwesten des Bildausschnittes). Im oberen Bildausschnitt wird zudem die Überschätzung der Klasse OLI zum Nachteil der Rebflächen (WEI) deutlich.

Abb. 12 zeigt vorwiegend als Weinbau klassifizierte Bereiche mit unterschiedlichen Kultur- und Anbaumustern. Nutzflächen dieser Art bilden aufgrund ihres sporadischen Charakters keine eigene Kategorie im Klassifikationssystem und können nach der gewählten Klasseneinteilung nicht korrekt klassifiziert werden.

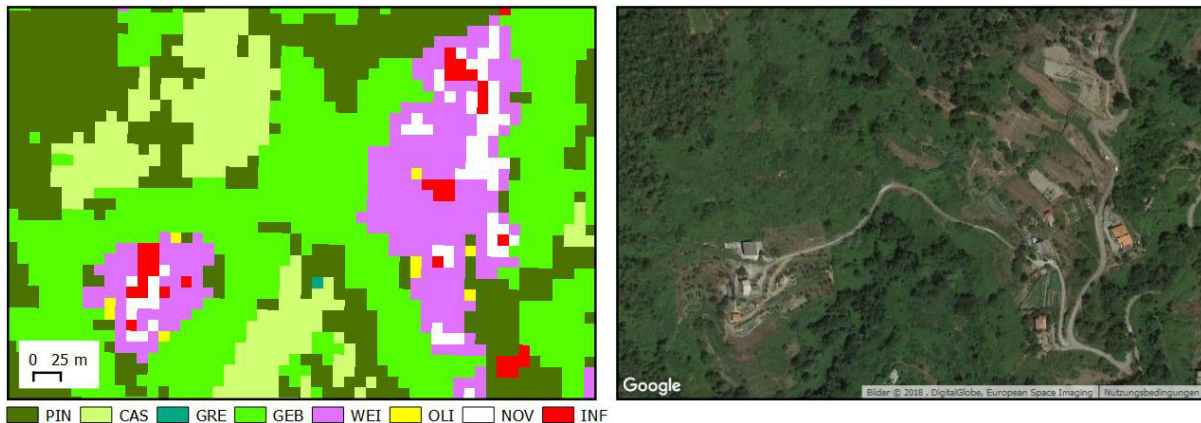


Abb. 12: Detailansicht eines Gebietsbereiches mit als Wein klassifizierten Anbauflächen mit komplexeren Anbaumustern. Links: RF-Klassifikation. Rechts: Google-Bilddaten (GOOGLE 2017).

6 Diskussion

6.1 Einordnung unterschiedlicher Validierungsmethoden

In der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedliche Maße zur Überprüfung der Klassifikationsgenauigkeiten verwendet, um deren Vor- und Nachteile abschätzen zu können. Die prinzipiell abhängige Out-Of-Bag-Fehlerrate ist nur unter schwer zu erreichenden Eigenschaften der Trainingsdaten hinsichtlich Größe, Repräsentativität, Proportionalität und räumlicher Verteilung geeignet, um die Genauigkeit des Modells in Bezug auf die Klassifikation zu beurteilen (MILLAR & RICHARDSON 2015:8509). In der Praxis ist die Kreuzvalidierung unter Verwendung von zurückgehaltenen Trainingsdaten eine häufig genutzte Vorgehensweise um Genauigkeitswerte zu erzeugen. Liegen die Trainingsdaten allerdings wie in dieser Arbeit als Pixelcluster vor, so führt dies zwangsläufig zu einer räumlichen Autokorrelation. Die Zufallsauswahl der Test-Cluster für die Validierung erfolgt weiterhin innerhalb der zuvor vom Nutzer nicht zufällig ausgewählten Trainingsdaten. Diese Einschränkungen ergeben in der Praxis eine bedeutende Differenz der ermittelten Genauigkeitswerte zwischen Kreuzvalidierung und rein zufälliger Stichprobe die in der vorgestellten Analyse etwa 30% beträgt (Kapitel 5.3.2).

6.2 Untersuchungs- und Stichprobendesign

Ein optimales Stichprobendesign für Random Forest-Anwendungen zeichnet sich nach MILLARD & RICHARDSON (2015) durch ein unabhängiges, proportionales und möglichst wenig autokorreliertes Sampling aus. Dies ist in der Praxis nur durch die zufällige Verteilung von Einzelproben über das gesamte Untersuchungsgebiet möglich und wird in der Anwendung, insbesondere bei heterogenen Untersuchungsgebieten mit einer hohen Anzahl an Klassen ein kaum zu verwirklichender Idealzustand bleiben (MILLARD & RICHARDSON 2015:8509). In der Praxis haben Anwender meist nur eine begrenzte

Menge an Referenzdaten zur Verfügung. Zeitlicher Aufwand für Geländeerhebungen oder Interpretation von sehr hochauflösenden Bilddaten muss weiterhin begrenzt bleiben. Es besteht daher stets eine Tauschhandel-Situation zwischen Qualität und Quantität von Trainingsdaten.

Da ein randomisiertes Stichprobendesign zur Erhebung von Trainingsdaten in der Praxis meist kein realisierbares Szenario darstellt, wird es in den meisten Fällen durch eine nutzerabhängige Auswahl vermeintlich repräsentativer Referenzflächen, passend für das ausgearbeitete Klassifikationssystem, ersetzt. Durch diese Vorgehensweise gelangt jedoch ein höheres Maß an Subjektivität in den Prozess der Datensammlung, was alle folgenden Arbeitsschritte und Ergebnisse mit einem gewissen Fehler behaftet. Einflussfaktoren sind hier räumliche Autokorrelation, Vermeidung von Randpixeln (Problem der „harten“ Klassifikation) unausgewogene Klassenanteile innerhalb der Trainingsdaten, Mangel an echter Repräsentativität oder der Vernachlässigung von Nicht-Zielklassen.

Nicht zuletzt stellt selbstverständlich auch die ausschließlich indirekte, d.h. aus Bilddaten und Literaturreferenzen abgeleitete, Akquise von Trainings- und Testdaten ohne eigene *in-situ*-Gebietskenntnis einen Unsicherheitsfaktor dar.

Die Diskrepanz zwischen der in Form von Kreuzvalidierung ermittelten Fehlerrate und der durch unabhängiges Sampling ermittelten Genauigkeit der RF-Klassifikation spiegelt auch die Distanz zwischen Realität und den genutzten Trainingsdaten wider. Sie zeigt deutlich, wie wichtig und zugleich anspruchsvoll das Erzeugen von repräsentativen Stichproben ist.

6.3 Random Forest-Klassifikation und Variablenauswahl

Die Verwendung des Random Forest-Klassifikators konnte, unter den bisher genannten Einschränkungen, wirksam auf die Sentinel-2 Daten angewendet werden. Dabei ermöglichte es die Methode, nicht nur die Sensor-Daten der Optik, sondern auch wertvolle Hilfsdaten und Datenderivate in den Klassifikationsprozess einzubeziehen. Random Forest-Modelle stellen allerdings insofern Black-Box-Anwendungen dar, dass ihr Entscheidungsprozess durch die hohe Anzahl an Entscheidungsbäumen und zufälliger Generierung (jedes RF-Modell ist geringfügig anders) kaum nachzuvollziehen ist. Im Gegensatz zu anderen Klassifikatoren des maschinellen Lernens können Random Forests dennoch in begrenztem Maße interpretiert werden. Grund dafür sind die geringe Anzahl an Eingabeparametern und die Möglichkeit zur Betrachtung von verschiedenen Ausgabestatistiken. Die vergleichsweise kurze Rechenzeit ermöglicht zudem iterative Klassifikationen aus deren Ergebnissen auf den Einfluss einzelner Änderungen am Modell geschlossen werden kann. Auf diese Weise kann ein „bestmögliches“ Modell zur Schätzung von den Trainingsdaten auf den Rest der Bildszene ermittelt werden.

Feature Selection und Variablenwichtigkeit

Die Ergebnisse aus 5.2 und 5.3.1 zeigen, dass die Variablenreduzierung zu einer Verringerung der Fehlerrate um mehr als 10% im Vergleich zur Klassifikation mit allen erzeugten Variablen geführt hat. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer Reduzierung hochdimensionaler Datensätze im Vorfeld der Klassifikation und bestätigt die Wirkung des sogenannten Hughes-Phänomens (HUGHES 1968), nach dem eine erhöhte Dimensionalität zugleich erhöhte Anforderungen an das beschreibende Modell stellt. Da die in dieser Arbeit verwendete Datenmenge im Vergleich zu anderen Analysen eher gering ist (vgl. GHOSH et al. 2014:51) muss auch von einem Einfluss fehlleitender Informationen innerhalb des Datensatzes ausgegangen werden. Im Zuge der Variablenauswahl wurden diese Informationen zunehmend aus dem Datensatz entfernt.

Da die in dieser Arbeit verwendeten Methoden zur *Feature Selection* direkt oder indirekt auf den verwendeten Trainingsdaten basieren, hängt der Erfolg dieser Methode stark von der Qualität dieser Daten ab. Die Varianz der vollständigen Variablen ist nicht berücksichtigt worden. Möglichkeiten dazu

bieten beispielsweise Hauptkomponentenanalysen (z.B. BERBEROGLU et al. 2007:332) oder ebenfalls modellunabhängige Wrapper-Methoden (z.B. KURSA & RUDNICKI 2010).

Einschränkungen des verwendeten Ansatzes wurden auch in der Interpretierbarkeit der Wichtigkeitsmaße aus der RF-Klassifikation ausgemacht. Die Statistiken von MDA und MDG ergeben unter Umständen wenig verlässliche oder gar fehlleitende Variablenrangfolgen. STROBL et al. (2008) zeigen, dass die genannten Wichtigkeitsmaße nicht frei von Störeinflüssen sind. Dieser Umstand wird in Studien mit dem Hintergrund der Bildverarbeitung jedoch weitgehend unberücksichtigt gelassen. Sowohl die Technik des Stichprobensubsamplings in Form von Bootstrap, als auch die Skalierung der Variablen haben Anteil am Fehlereintrag in die Messwerte. Für RF-Klassifikation im Bereich der Bioinformatik präsentierten etwa STROBL et al. (2008) oder ALTMANN et al. (2010) Verfahren, um diesen Störeinflüssen zu begegnen und die Wichtigkeitsmaße in Messwerte mit höherer Reliabilität zu transformieren. Diese in R verfügbaren Algorithmen konnten, aufgrund ihres hohen Anspruchs an die Rechenleistung, in dieser Untersuchung nicht auf die geostatistischen Variablen angewendet werden.

Auch die bereits unter 6.2 erwähnte Verzerrung, die durch räumlich korrelierte Daten in die Schätzung des OOB-Fehlers eingetragen wird, kann zu einer Fehleinschätzung bei der Variablenauswahl führen. Folge kann dabei etwa die Reduzierung des Datensets über den Zustand der bestmöglichen Genauigkeit hinaus sein (CÁNOVAS-GARCÍA et al. 2017:11). Diesem Effekt wurde während der Analyseschritte der vorliegenden Arbeit durch die Durchführung zusätzlicher Validierung zumindest teilweise entgegengewirkt.

Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass ein blindes Vertrauen in die Wichtigkeitsmaße zu falschen Entscheidungen bei der Variablenauswahl führen kann. Dies kann auch für die vorliegende Untersuchung nicht ausgeschlossen werden. Zur Verhinderung solcher Fehlentscheidungen wurden Kenntnisse zu Korrelation der Variablen aus der Literatur, sowie deren empirisch belegte Bedeutungen in der Landbedeckungsklassifikation herangezogen und die zusätzliche Überprüfung der Genauigkeit vorgenommen (vgl. 4.6).

6.4 Informationsgehalt für mediterrane Terrassenlandschaften

Aussagekraft der Ergebnisse

Die Ergebnisse der klassenspezifischen Genauigkeiten und die Interpretation der Fehlklassifikationen aus der Konfusionsmatrix (s. 5.4) lassen Aussagen über die Schwächen des Klassifikationssystems und problematische Bedeckungsklassen zu. So zeigt sich, dass variantenreiche Bedeckungsklassen, insbesondere Macchie (MAC), mit Überschneidungen zu fast jeder der anderen Vegetationsklassen, aber auch Olivenhaine und -brachen (OLI), der Grund für zahlreiche Fehlklassifikationen sind. Heterogene Eigenschaften dieser Klassen, wie die Artenzusammensetzung und Wuchshöhe der Macchien oder unterschiedliche Ausprägung des Unterwuchses von Olivenhainen bedingen eine klasseninterne Variabilität, die nur schwer in den Trainingsdaten abgebildet werden kann.

Höhere Sicherheiten bei der Klassifikation weist die Klasse der durch Baumheide geprägten Flächen (ERI) auf. Mithilfe vegetationsökologischer Erkenntnisse bestehender Studien von RICHTER (1989) und LINGENHÖHL (2005) lässt sich diese Klasse außerdem mit den mittelalten Brachestadien im Alter von 15 bis 30 Jahren nach Aufgabe der Bewirtschaftung in Verbindung bringen.

Eine bedeutende Rolle am Anteil der Fehlerrate scheinen Mischpixel, bedingt durch die räumliche Auflösung der Bilddaten, einzunehmen. Deutlich wird dies durch die Fehlklassifikationen, bei denen statt Infrastruktur oder vegetationslosen Flächen Vegetationsklassen mit hohem Reflexionsanteil offener Bodenfläche, wie SPR oder WEI, ausgewiesen werden. Aufgrund der insgesamt eher geringen Gesamtgenauigkeit von <55% wurde auf eine Auswertung der Flächenanteile der einzelnen Klassen verzichtet.

Dennoch kann auf Terrassenflächen der Wechsel von Weinbau und Brachen, im Sinne einer Unterscheidung zwischen kultivierten und längere Zeit nicht kultivierten Flächen, grob herausgearbeitet werden. Die räumliche Auflösung von 10 m stellt letztendlich eine deutliche Limitierung für präzise Aussagen dar.

Um Zustand und Veränderung von Terrassenlandschaften präzise zu erfassen mag es hilfreich sein, die Verbreitung der anthropogenen Terrassenstrukturen genau zu kennen. Auf diese Weise könnten Auswertungen auf eben jene Landschaftsbereiche beschränkt und so Störeinflüsse reduziert werden. In jüngerer Vergangenheit wurden Anstrengungen zur Kartierung der Terrassenflächen in den Cinque Terre und ganz Italien mit GIS- und Fernerkundungsmethoden unternommen (TAROLLI et al. 2014, 2015, SOFIA et al. 2014, SPANÒ et al. 2018).

Grenzen der pixelbasierten Klassifikation

Mit zunehmender räumlicher Auflösung von Bilddaten geraten pixelbasierte Klassifikationsmethoden zunehmend an ihre Grenzen. In Anpassung daran wurden sogenannte objektbasierte Klassifikationsansätze, auch als *Object-Based Image Analysis* (OBIA) bezeichnet, entwickelt. Bei diesen Methoden stellen nicht Bildpixel die zu klassifizierenden Elemente dar, sondern zuvor durch den Prozess der Segmentierung extrahierte Objekte in Form von Pixelclustern (BLASCHKE 2010:3, DURO et al. 2012, PUISSANT et al. 2014). Die bekanntesten Softwarelösungen zum Durchführen von objektbasierter Bildklassifikation sind kostenpflichtige Anwendungen wie eCognition oder PCA Geomatica. Dennoch sind Algorithmen zur Segmentierung auch in Open-Source oder zumindest freier Software verfügbar. Ein Beispiel ist etwa die ORFEO-Toolbox, die sowohl in QGIS als auch in SNAP integriert werden kann. BAISANTRY et al. (2017) vergleichen verschiedene Open-Source und Freeware-Anwendungen mit dem kommerziellen eCognition und kommen zu dem Schluss, dass alle nichtkommerziellen Produkte im Vergleich zu eCognition schlechtere Ergebnisse in der Bildsegmentierung produzieren oder nur über sehr geringe Auswahlmöglichkeiten verfügen (BAISANTRY et al. 2017:2). Jüngere Ansätze, wie etwa das R Package SegOptim (GONÇALVES et al. 2019) zur Verbesserung des Segmentierungsvorgangs und anschließender Klassifikation, führen jedoch zu einer zunehmenden Verbesserung von Open-Source-Möglichkeiten zur objektbasierten Bildklassifikation.

BELGIU & CSILLIK (2018) nutzen R und Random Forest erfolgreich zur Klassifizierung von Segmentierten Sentinel-2-Bilddaten. Zur Segmentierung nutzen sie jedoch ebenfalls eCognition und testen die Klassifikation ausschließlich in Gebieten mit größeren landwirtschaftlichen Nutzflächen (BELGIU & CSILLIK 2018:509). DURO et al. (2012) hingegen können in einer vergleichenden Studie keine signifikante Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit im Vergleich zu pixelbasierter Vorgehensweise feststellen, wenn objektbasierte Bildklassifikation auf Spot-5-Bilddaten mit 10x10 m räumliche Auflösung angewendet wird (DURO et al. 2012:271). Diese Einblicke verstärken wiederum die Annahme, dass die Verwendung von Sentinel-2-Bilddaten in kleinräumig fragmentierten Untersuchungsgebieten wie den Cinque Terre auch mit objektorientierten Methoden nicht zu befriedigenden Ergebnissen führen können, wenn sie eine trennscharfe Betrachtung von mosaikartigen Nutzungsmustern zum Ziel haben. Im Falle der Cinque Terre heißt das, dass auch durch objektbasierte Klassifikation eine Betrachtung der relevanten landwirtschaftlichen Parzellen, trotz vermutlich visuell einheitlicherem Charakter des Ergebnisses, nicht mit erhöhter Genauigkeit zu rechnen ist. Die Chance einer ausreichend detaillierten Beobachtung von Terrassenflächen durch die in absehbarer Zeit zur Verfügung stehenden und für den Anwender kostenlosen Bilddaten muss an dieser Stelle in Frage gestellt werden.

6.5 Verbesserungspotenzial und Ausblick

Eine Möglichkeit zur Beschränkung der oben genannten Einflüsse ist die Reduzierung der Größe des Untersuchungsgebietes. Diese Maßnahme kann die Anzahl der Klassen verringern und die Repräsentativität der Trainingsdaten für den jeweiligen Bildausschnitt erhöhen. Gerade bei einer spezifischen Fragestellung kann dies als ein sinnvoller Schritt erscheinen. Für die Cinque Terre wäre etwa eine Ausmaskierung aller nichtterrassierten Gebietsabschnitte vorstellbar, wodurch Klassen mit geringer Bedeutung für die Fragestellung möglicherweise gänzlich aus dem Klassifikationssystem entfallen würden.

Zum Erreichen des notwendigen Detaillierungsgrades ist dennoch ein Ausweichen auf höherauflösende und damit kostenpflichtige Datensätze unumgänglich. Auf dem Gebiet von optischen Fernerkundungsdaten höchster räumlicher Auflösungsstufen haben in den vergangenen Jahren sehr hochauflösende Datenprodukte, engl. *very high resolution* (VHR), von kommerziellen Fernerkundungssatelliten, wie etwa IKONOS, Pléiades, QuickBird oder WorldView eine qualitativ vergleichbare Alternative zu modernen Luftbildaufnahmen geschaffen. Mit einer geometrischen Auflösung im Meterbereich in multispektralen Bildkanälen und der Möglichkeit zur nachträglichen Erhöhung der Auflösung dieser Bänder durch Pansharpening ermöglichen diese Datensätze eine detailreiche Betrachtung der Erdoberfläche (HEISIG et al. 2015). Terrassenparzellen von wenigen Metern Breite, wie sie in den Cinque Terre existieren, stellten in diesen Bilddaten eigene Pixelansammlungen dar, ohne in hohem Maße mit angrenzenden Bedeckungseigenschaften zu verschwimmen.

Eine mögliche Alternative zu VHR-Satellitenbilddaten oder flugzeuggestützten Luftbildaufnahmen stellt das durch den Einsatz von *unmanned aerial vehicles* (UAVs) erzeugte Bildmaterial dar. Die Flugobjekte ermöglichen die gezielte Beobachtung von kleinräumigeren Arealen mit optischen Sensorsystemen und der Erzeugung von digitalen Geländemodellen mittels Stereo-Photogrammetrie oder LiDAR-Technik (AJAYI et al. 2017, BAKUŁA et al. 2017, GUO et al. 2017). Die im Drohnenflug akquirierten Datensätze können zur hochauflösenden Bildklassifikation genutzt werden, insbesondere, wenn die Systeme mit einem IR-Kanal ausgestattet sind. Ihre Eigenschaften stellen den Anwender jedoch auch vor neue Herausforderungen im Bereich der Bildkorrektur oder dem Umgang mit Schattenwurf (LALIBERTE et al. 2011, MILAS et al. 2017, YU et al. 2016).

7 Fazit

Multispektrale Sentinel-2-Satellitenbilddaten aus dem Copernicus-Programm der ESA bieten eine neue Qualität frei zugänglicher und flächendeckender Bilddaten in Bezug auf räumliche Auflösung und Wiederholungsrate. Diesen Datenprodukten kommt in näherer Zukunft so eine bedeutende Rolle zur Beantwortung unterschiedlichster Forschungsfragen zu.

In dieser Studie wurden Sentinel-2-Daten genutzt, um eine überwachte Landbedeckungsklassifikation für ein heterogenes, mediterranes Untersuchungsgebiet mit hoher Reliefenergie zu erproben. Ziele der Untersuchung waren die Überprüfung der Anwendbarkeit und Erfolgsaussichten der verwendeten Methode, sowie die Nutzbarkeit und Aussagekraft der genutzten Daten. Arbeitsschritte der Datenverarbeitung wurden ausschließlich durch die Verwendung von Open-Source-Softwareanwendungen durchgeführt, um eine adaptierbare und möglichst uneingeschränkt reproduzierbare Methodik zu verwenden. Durch die Verfügbarkeit unterschiedlicher offener Softwarepakete stehen vielfältige Möglichkeiten zur Verarbeitung und Analyse der Daten bereit.

Mit neueren Klassifikatoren wie Random-Forest sind Methoden des maschinellen Lernens auch in Open-Source-Anwendungen zugänglich und können, z.B. durch die Nutzung in R, selbst zu systematischen Analysen herangezogen werden. In dieser Arbeit konnte die pixelbasierte Klassifikation mit dem Random Forest-Klassifikator durch die Hinzunahme von Hilfsdaten und Datenderivaten, sowie durch

die durchgeführte Terrainkorrektur um mindestens 12% verbessert werden. Diese Verbesserung konnte durch Daten erreicht werden, die für die meisten Gebiete der Erde zu Verfügung stehen. Von besonderem Wert sind dabei digitale Höhendaten. Vor dem Hintergrund der erlangten Ergebnisse wird jedoch empfohlen Texturmaße, wie GLCM-Variablen, innerhalb einer zielorientierten Praxisanwendung zu vernachlässigen. Der Zugewinn durch diese Variablen ist in Relation zu dem mit ihnen in Verbindung stehenden Arbeitsaufwands eher gering.

Die Leistungsfähigkeit des verwendeten Random Forest-Ansatzes kann, im Hinblick auf die diskutierten Potenziale, keineswegs als ausgeschöpft bezeichnet werden. Es existieren Möglichkeiten, um den Klassifikationsprozess an verschiedenen Stellen des Arbeitsablaufes zu verbessern. Dazu zählen, neben der Wahl wirkungsvollerer Methoden zur Variablenauswahl, auch die Möglichkeiten im Bereich der Bildverbesserung. Zusätzliche Datensätze, etwa LiDAR-Derivate, könnten helfen, schwer trennbare Bedeckungsklassen besser zu unterscheiden. Mit der Random Forest-Methode wären diese Datensätze zudem leicht einzubinden.

Für die Erforschung mediterraner Terrassenlandschaften wie den Cinque Terre steht der dort stattfindende Nutzungswandel im Zentrum vieler Fragestellungen. Das Fortschreiten des Nutzungswandels und die Möglichkeiten zum Management dieser Entwicklung werden entscheidenden Einfluss auf die biologische Vielfalt und die geohydrologische Stabilität der terrassierten Gebiete haben. Vor diesen Anforderungen muss auch der Informationsgehalt der hier präsentierten Landbedeckungsklassifikation betrachtet werden. Denn einerseits lässt die mehr oder weniger geringe Gesamtgenauigkeit des Ergebnisses eine für viele Fragestellungen unzureichende Verlässlichkeit vermuten, andererseits konnte die prinzipielle Trennung von Weinbau und Brachflächen auf terrassierten Hängen herausgearbeitet werden. Nach Meinung der Autoren könnte ein Veränderungsmonitoring, welches lediglich die Frage nach dem relativen Anteil der ungenutzten zu genutzten Terrassenabschnitten beantworten soll, auf Grundlage von Sentinel-2-Bilddaten umgesetzt werden.

Neben den, in Abschnitt 6 diskutierten, methodischen Limitationen, die auch aus der Einschränkung einer fehlenden *in-situ*-Begehung resultiert, stellt vor allem die räumliche Auflösung eine Begrenzung des Detaillierungsgrades dar. Auch mit den hochauflösenden und frei zugänglichen Bilddaten der Sentinel-2-Satelliten können die fragmentierten Verhältnisse auf den, nur wenige Meter breiten, Terrassenflächen des Untersuchungsgebietes allenfalls nur begrenzt erfasst werden.

Größeres Potential zur Verbesserung der Klassifikation bieten demgegenüber objektbasierte Klassifikationsansätze. Diese können bestimmten Nachteilen der pixelbasierten Bildklassifikation entgegenwirken und höhere Genauigkeiten erzeugen. Da die Random Forest-Klassifikation auch auf Bildsegmente statt auf Pixel angewendet werden kann, ist es prinzipiell möglich, die in dieser Studie verdeutlichten Vorteile des Random-Forest-Algorithmus in objektbasierten Klassifikationsverfahren zu nutzen. Als Schwachstelle deutet sich in diesem Bereich jedoch an, dass die Entwicklung effektiver Segmentierungsalgorithmen im Open-Source-Bereich weiter vorangetrieben werden muss, um mit kommerziellen Anwendungen mithalten zu können. Dennoch kann auch das Ergebnis einer potentiellen nicht-pixelbasierten Klassifikation, bei gleichbleibender räumlicher Auflösung der Bilddaten, nicht den Anforderungen eines Untersuchungsgebietes wie dem Nationalpark Cinque Terre und seiner speziellen Problemstellung gerecht werden. Soll der Landnutzungswandel in heterogenen Landschaften mit kleinräumig wechselnder Landbedeckung und -nutzung in ausreichendem Detaillierungsgrad, wie er etwa für die landwirtschaftlichen Parzellen der Terrassenlandschaften nötig wäre, dokumentiert werden, so ist ein Ausweichen auf höherauflösende Bilddatensätze nicht zu umgehen. Trotz ihrer fortschrittlichen Eigenschaften stoßen Sentinel-2-Datensätze bei einer derartigen Fragestellung an ihre Grenzen. Sehr hochauflösende Datensätze in Form von kommerziellen Satellitenbilddaten sowie Flugzeug- oder Drohnengestützte Aufnahmesysteme erfüllen diese Anforderungen an die räumliche Auflösung. Gleichzeitig bringen auch sie neue Herausforderungen mit sich.

Literatur

- AGNOLETTI, M., EMANUELI, F., MAGGIARI, G. & PRETI, F. (2012): Paesaggio e dissesto indriogeologico: Il disastro ambientale del 25 ottobre 2011 nelle Cinque Terre / Landscape and hydrogeological risk. The environmental disaster of 25 october 2011 in Cinque Terre. In: AGNOLETTI, M., CARANDINI, A. & SANTORO, A. (Hrsg.). Studi e ricerche / Essays and researches: Biennale internazionale dei beni culturali ed ambientali / Inter-national Biennial of Cultural and Environmental Heritage. Florenz: Fondazione Florens, 25–46.
- AJAYI, O.G., SALUBI, A.A., ANGBAS, A.F. & ODIGURE, M.G. (2017): Generation of accurate digital elevation models from UAV acquired low percentage overlapping images. – *International Journal of Remote Sensing* 19, 8, 1–22.
- ALTMANN, A., TOLOŞI, L., SANDER, O. & LENGAUER, T. (2010): Permutation importance: a corrected feature importance measure. – *Bioinformatics* 26, 10, 1340–1347.
- ARNÁEZ, J., LANA-RENAULT, N., LASANTA, T., RUIZ-FLAÑO, P. & CASTROVIEJO, J. (2015): Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. – *CATENA* 128, 122–134.
- ASCHBACHER, J. & MILAGRO-PÉREZ, M.P. (2012): The European Earth monitoring (GMES) programme: Status and perspectives. – *Remote Sensing of Environment* 120, 3–8.
- BAISANTRY, M., SHUKLA, D.P. & BANSAL, G. (2017): Evaluation of object-based image analysis software for segmentation in remote sensing applications. – *AGILE 2017 - Wageningen, May 9-12*, https://agile-online.org/conference_paper/cds/agile_2017/posters/120_PosterAbstract_in_PDF.pdf (Zugriff: 2017-21-03).
- BAKUŁA, K., SALACH, A., ZELAYA WZIĄTEK, D., OSTROWSKI, W., GÓRSKI, K. & KURCZYŃSKI, Z. (2017): Evaluation of the accuracy of lidar data acquired using a UAS for levee monitoring: Preliminary results. – *International Journal of Remote Sensing* 16, 8, 1–17.
- BARTHA, G. & KOCSIS, S. (2011): Standardization of geographic data: The European INSPIRE directive. – *European Journal of Geography* 2, 2, 79–89.
- BEEKHUIZEN, J. & CLARKE, K.C. (2010): Toward accountable land use mapping: Using geocomputation to improve classification accuracy and reveal uncertainty. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12, 3, 127–137.
- BELGIU, M. & CSILLIK, O. (2018): Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis. – *Remote Sensing of Environment* 204, 509–523.
- BELGIU, M. & DRĂGUȚ, L. (2016): Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 114, 24–31.
- BERBEROGLU, S., CURRAN, P.J., LLOYD, C.D. & ATKINSON, P.M. (2007): Texture classification of Mediterranean land cover. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9, 3, 322–334.
- BIVAND, R., KEITT, T. & ROWLINGSON, B. (2017): rgdal: Bindings for the ‘geospatial’ data abstraction library. R package version 1.2-16, <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>.
- BLASCHKE, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65, 1, 2–16.
- BOEHNER, J., KOETHE, R., CONRAD, O., GROSS, J., RINGELER, A. & SELIGE, T. (2002): Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation. In: MICHELI, E., NACHTERGAELE, F., MONTANA-

- RELLA, L. (Hrsg.). Soil classification 2001: Contributions for the International Symposium "Soil Classification 2001", 8 - 12 October 2001, Velence, Hungary. European Soil Bureau research report 7. Luxembourg: Office for Official publications of the European Communities, 213–222.
- BOULESTEIX, A.-L., JANITZA, S., KRUPPA, J. & KÖNIG, I.R. (2012): Overview of random forest methodology and practical guidance with emphasis on computational biology and bioinformatics. – *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 2, 6, 493–507.
- BRANDOLINI, P. (2017): The outstanding terraced landscape of the Cinque Terre coastal slopes (Eastern Liguria). In: SOLDATI, M. & MARCHETTI, M. (Hrsg.). *Landscapes and Landforms of Italy. World Geomorphological Landscapes*. Cham: Springer, 235–244.
- BREIMAN, L. (2001): Random Forests. – *Machine Learning* 45, 1, 5–32.
- CÁNOVAS-GARCÍA, F., ALONSO-SARRÍA, F., GOMARIZ-CASTILLO, F. & OÑATE-VALDIVIESO, F. (2017): Modification of the random forest algorithm to avoid statistical dependence problems when classifying remote sensing imagery. – *Computers & Geosciences* 103, 1–11.
- CARL, T. & RICHTER, M. (1989): Geoecological and morphological processes on abandoned vine-terraces in the Cinque Terre (Liguria). – *Geoökodynamik* X, 2/3, 125–158.
- CEVASCO, A., BRANDOLINI, P., SCOPESI, C. & RELLINI, I. (2013): Relationships between geo-hydrological processes induced by heavy rainfall and land-use: The case of 25 October 2011 in the Vernazza catchment (Cinque Terre, NW Italy). – *Journal of Maps* 9, 2, 289–298.
- CLAUSI, D.A. (2002): An analysis of co-occurrence texture statistics as a function of grey level quantization. – *Canadian Journal of Remote Sensing* 28, 1, 45–62.
- CONGALTON, R.G. (1991): A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. – *Remote Sensing of Environment* 37, 1, 35–46.
- CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V. & BÖHNER, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. – *Geoscientific Model Development* 8, 7, 1991–2007.
- CRAIG DOBSON, M., ULABY, F.T. & PIERCE, L.E. (1995): Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. – *Remote Sensing of Environment* 51, 1, 199–214.
- DRUSCH, M., DEL BELLO, U., CARLIER, S., COLIN, O., FERNANDEZ, V., GASCON, F., HOERSCH, B., ISOLA, C., LABERINTI, P., MARTIMORT, P., MEYGRET, A., SPOTO, F., SY, O., MARCHESI, F. & BARGELLINI, P. (2012): Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. – *Remote Sensing of Environment* 120, 25–36.
- DURO, D.C., FRANKLIN, S.E. & DUBÉ, M.G. (2012): A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. – *Remote Sensing of Environment* 118, 259–272.
- EFRON, B. (1979): Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. – *The Annals of Statistics* 7, 1, 1–26.
- FALCUCCI, A., MAIORANO, L. & BOITANI, L. (2007): Changes in land-use/land-cover patterns in Italy and their implications for biodiversity conservation. – *Landscape Ecology* 22, 4, 617–631.
- FOWLER, P. (2002): World heritage cultural landscapes, 1992–2002: A review and prospect. – *Cultural landscapes: The challenges of conservation*, 16–31.

- GHIMIRE, B., ROGAN, J., GALIANO, V.R., PANDAY, P. & NEETI, N. (2012): An evaluation of bagging, boosting, and random forests for land-cover classification in Cape Cod, Massachusetts, USA. – *GIScience & Remote Sensing* 49, 5, 623–643.
- GHOSH, A., FASSNACHT, F.E., JOSHI, P.K. & KOCH, B. (2014): A framework for mapping tree species combining hyperspectral and LiDAR data: Role of selected classifiers and sensor across three spatial scales. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26, 49–63.
- GISLASON, P.O., BENEDIKTSSON, J.A. & SVEINSSON, J.R. (2006): Random Forests for land cover classification. – *Pattern Recognition Letters* 27, 4, 294–300.
- GONÇALVES, J., PÔÇAS, I., MARCOS, B., MÜCHER, C. A. & HONRADO, J. P. (2019): SegOptim—A new R package for optimizing object-based image analyses of high-spatial resolution remotely-sensed data. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 76, 218–230.
- GOUNARIDIS, D., APOSTOLOU, A. & KOUKOULAS, S. (2015): Land cover of Greece, 2010: A semi-automated classification using random forests. – *Journal of Maps* 2, 1–8.
- GUO, Q., SU, Y., HU, T., ZHAO, X., WU, F., LI, Y., LIU, J., CHEN, L., XU, G., LIN, G., ZHENG, Y., LIN, Y., MI, X., FEI, L. & WANG, X. (2017): An integrated UAV-borne lidar system for 3D habitat mapping in three forest ecosystems across China. – *International Journal of Remote Sensing* 5, 1–19.
- HALL-BEYER, M. (2017a): GLCM texture: A tutorial. v. 3.0, <https://prism.ucalgary.ca/handle/1880/51900> (Stand: 2017-03) (Zugriff: 2017-03-15).
- HALL-BEYER, M. (2017b): Practical guidelines for choosing GLCM textures to use in landscape classification tasks over a range of moderate spatial scales. – *International Journal of Remote Sensing* 38, 5, 1312–1338.
- HANSEN, M.C., DEFRIES, R.S., TOWNSHEND, J.R.G. & SOHLBERG, R. (2000): Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. – *International Journal of Remote Sensing* 21, 6-7, 1331–1364.
- HAO, Y., BROWN, M. & HARDING, J. (2014): GIS for all: exploring the barriers and opportunities for under-exploited GIS applications. – *OSGEO Journal* 13, 19–28.
- HARALICK, R.M., SHANMUGAM, K. & DINSTEN, I. (1973): Textural features for image classification. – *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC-3*, 6, 610–621.
- HEISIG, H., JÖRG, P.C., LEITERER, R., WYSS, F. & ZESIGER, M. (2015): Satellitenbilddaten: Neueste Sensoren, erleichterter Datenzugang und innovative Produkte. – *Geomatik Schweiz* 9, 325–330.
- HIJMANS, R.J. (2017): raster: Geographic data analysis and modelling. R package version 2.6-7., <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- HUANG, C., DAVIS, L.S. & TOWNSHEND, J.R.G. (2002): An assessment of support vector machines for land cover classification. – *International Journal of Remote Sensing* 23, 4, 725–749.
- HUETE, A.R. (1988): A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). – *Remote Sensing of Environment* 25, 295–309.
- HUGHES, G. (1968): On the mean accuracy of statistical pattern recognizers. – *IEEE Transactions on Information Theory* 14, 1, 55–63.
- IMMITZER, M., VUOLO, F. & ATZBERGER, C. (2016): First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. – *Remote Sensing* 8, 3, 166.
- JENSEN, J.R. (2016⁴): *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. Always learning. Glenview, Ill.: Pearson Education.

- JOHANSEN, K., COOPS, N.C., GERGEL, S.E. & STANGE, Y. (2007): Application of high spatial resolution satellite imagery for riparian and forest ecosystem classification. – *Remote Sensing of Environment* 110, 1, 29–44.
- KABIR, S., HE, D.-C., SANUSI, M.A. & WAN HUSSINA, W.M.A. (2013): Texture analysis of IKONOS satellite imagery for urban land use and land cover classification. – *The Imaging Science Journal* 58, 3, 163–170.
- KEUCHEL, J., NAUMANN, S., HEILER, M. & SIEGMUND, A. (2003): Automatic land cover analysis for Tenerife by supervised classification using remotely sensed data. – *Remote Sensing of Environment* 86, 4, 530–541.
- KURSA, M.B. & RUDNICKI, W.R. (2010): Feature selection with the Boruta Package. – *Journal of Statistical Software* 36, 11, 1–13.
- LALIBERTE, A.S., GOFORTH, M.A., STEELE, C.M. & RANGO, A. (2011): Multispectral remote sensing from unmanned aircraft: Image Processing Workflows and Applications for Rangeland Environments. – *Remote Sensing* 3, 11, 2529–2551.
- LASANTA-MARTÍNEZ, T., VICENTE-SERRANO, S.M. & CUADRAT-PRATS, J.M. (2005): Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: A study of the Spanish Central Pyrenees. – *Applied Geography* 25, 1, 47–65.
- LIAW, A. & WIENER, M. (2002): Classification and regression by randomForest. – *R News* 2, 3, 18–22, <http://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.
- LINGENHÖHL, D. (2005): Die Biodiversität der Cinque Terre, Italien: Ihr Ausmaß, ihre Dynamik und ihr mögliches Management in einer traditionellen europäischen Kulturlandschaft (Dargestellt an Vegetation und Avifauna). Dissertation: Universität Erlangen Nürnberg.
- LOUIS, J., DEBAECKER, V., PFLUG, B., MAIN-KNORN, M., BIENIARZ, J., MUELLER-WILM, U. & CADAU, E. & GASCON, F. (2016): Sentinel-2 Sen2Cor: L2A Processor for Users (2016). Proceedings 'Living Planet Symposium 2016'. Prague, Czech Republic.
- MILAS, A.S., AREND, K., MAYER, C., SIMONSON, M.A. & MACKEY, S. (2017): Different colours of shadows: Classification of UAV images. – *International Journal of Remote Sensing* 34, 3, 1–17.
- MILLARD, K. & RICHARDSON, M. (2015): On the importance of training data sample selection in random forest image classification: A Case Study in Peatland Ecosystem Mapping. – *Remote Sensing* 7, 7, 8489–8515.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B. & LADSON, A.R. (1991): Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. – *Hydrological Processes* 5, 1, 3–30.
- MÜLLER-WILM, U., DEVIGNOT, O. & PESSIOT, L. (2017): Sen2Cor configuration and user manual: S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.4, http://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.4.0/Sen2Cor_240_Documentation_PDF/S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.4.0.pdf (Zugriff: 2018-01-18).
- NOWAK, B. (1987): Untersuchungen zur Vegetation Ostliguriens (Italien). *Dissertationes botanicae* Bd. 111. Berlin, Stuttgart: J. Cramer.
- PEBESMA, E.J. & BIVAND, R.S. (2005): Classes and methods for spatial data in R. – *R News* 5, 2, <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.
- PUISSANT, A., ROUGIER, S. & STUMPF, A. (2014): Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26, 235–245.

- R CORE TEAM (2017): R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- RICCHETTI, E. (2000): Multispectral satellite image and ancillary data integration for geological classification. – *Engineering and Remote Sensing* 66, 4, 429–435.
- RICHTER, M. (1989): Untersuchungen zur Vegetationsdynamik und zum Standortwandel in mediterranen Rebbrachen. *Braun-Blanquetia* 4: Camerino-Bailleul.
- RICHTER, M. & BLOCK, M. (2001): Vielfalt in den Cinque Terre. Über den Niedergang einer Kulturlandschaft und die Rückkehr der Natur. – *Geographische Rundschau* 53, 40–47.
- RILEY, S.J., GLORIA, S.D. de & ELLIOT, R. (1999): A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. – *Intermountain Journal of Science* 5, 1-4, 23–27.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V. & CHICA-OLMO, M. (2012): Land cover change analysis of a Mediterranean area in Spain using different sources of data: Multi-seasonal Landsat images, land surface temperature, digital terrain models and texture. – *Applied Geography* 35, 1-2, 208–218.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V.F., CHICA-OLMO, M., ABARCA-HERNANDEZ, F., ATKINSON, P.M. & JEGANATHAN, C. (2012a): Random Forest classification of Mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. – *Remote Sensing of Environment* 121, 93–107.
- RODRIGUEZ-GALIANO, V.F., GHIMIRE, B., ROGAN, J., CHICA-OLMO, M. & RIGOL-SANCHEZ, J.P. (2012b): An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 67, 93–104.
- ROGAN, J., FRANKLIN, J., STOW, D., MILLER, J., WOODCOCK, C. & ROBERTS, D. (2008): Mapping land-cover modifications over large areas: A comparison of machine learning algorithms. – *Remote Sensing of Environment* 112, 5, 2272–2283.
- ROUSE, J., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. & DEERING, D.W. (1974): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. – *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium* 1, 48–62.
- SANDNER, M. (2018): Landbedeckungsklassifikation anhand von Sentinel-2-Bilddaten und Open-Source-Software - Bewertung der Eignung für mediterrane Terrassenlandschaften am Beispiel des Nationalparks Cinque Terre (Italien). Masterarbeit. Univ. Hildesheim. Unveröff.
- SINGLETON, A.D., SPIELMAN, S. & BRUNSDON, C. (2016): Establishing a framework for Open Geographic Information science. – *International Journal of Geographical Information Science* 30, 8, 1507–1521.
- SNAP (2017): SNAP - ESA Sentinel Application Platform v6.0.
- SOFIA, G., MARINELLO, F. & TAROLLI, P. (2014): A new landscape metric for the identification of terraced sites: The Slope Local Length of Auto-Correlation (SLLAC). – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 96, 123–133.
- SPANÒ, A., SAMMARTANO, G., CALCAGNO TUNIN, F., CERISE, S. & POSSI, G. (2018): GIS-based detection of terraced landscape heritage: comparative tests using regional DEMs and UAV data. – *Applied Geomatics* 10, 2, 77–97.
- STROBL, C., BOULESTEIX, A.-L., KNEIB, T., AUGUSTIN, T. & ZEILEIS, A. (2008): Conditional variable importance for random forests. – *BMC bioinformatics* 9, 307.
- TAROLLI, P., PRETI, F. & ROMANO, N. (2014): Terraced landscapes: From an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment. – *Anthropocene* 6, 10–25.

- TAROLLI, P., SOFIA, G., CALLIGARO, S., PROSDOCIMI, M., PRETI, F. & DALLA FONTANA, G. (2015): Vineyards in terraced landscapes: New opportunities from lidar data. – *Land Degradation & Development* 26, 1, 92–102.
- TASSETTI, A.N., MALINVERNI, E.S. & HAHN, M. (2010): Texture analysis to improve supervised classification in IKONOS imagery. In: WAGNER W. & SZÉKELY, B. (Hrsg.). *ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS*, Vienna, Austria, July 5–7, 2010. *IAPRS XXXVIII*, 7A. Wien: Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, 245–250.
- TERRANOVA, R., ZANZUCCHI, G., BERNINI, M., BRANDOLINI, P., CAMPOBASSO, S., CLERICI, A., FACCINI, F., RENZI, L., VESCOVI, P. & ZANZUCCHI, F. (2006): Geologia, geomorfologia e vini del Parco Nazionale delle Cinque Terre (Liguria, Italia). – *Bollettino della Società Geologica Italiana Speciale* 6, 115–128.
- TRAVIS, M.R., ELSNER, G.H., IVERSON, W.D. & JOHNSON, C.G. (1975): VIEWIT: Computation of seen areas, slope, and aspect for land-use planning. General technical report PSW-11. Berkeley, Calif.: Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station.
- VERBAS, C. (1978): Le Cinque Terre. – *Studi e Ricerche di Geografia* 1, 17–114.
- XU, B. & GONG, P. (2007): Land-use/land-cover classification with multispectral and hyperspectral EO-1 data. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73, 8, 955–965.
- YU, X., LIU, Q., LIU, X., LIU, X. & WANG, Y. (2016): A physical-based atmospheric correction algorithm of unmanned aerial vehicles images and its utility analysis. – *International Journal of Remote Sensing* 35, 108, 1–12.

Datenquellen

- GOOGLE EARTH (2017): Bilddatensätze aus dem Bestand von Google Earth, <https://www.google.com/earth/download/ge/> (Stand: 2017)
- REGIONE LIGURIA (2017a): Geoportal der Region Ligurien: Modello Digitale del Terreno da CTR 1:5000, <https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html> (Stand: 2017) (Zugriff: 2017-03-07).
- REGIONE LIGURIA (2017b): Uso del Suolo Sc. 1:10000 – Ed. 2015, <http://srvcarto.regione.liguria.it/geoviewer2/pages/apps/download/index.html?id=1735> (Stand: 2017) (Zugriff: 2017-03-07).
- REGIONE LIGURIA (2017c): Ortofoto digitale ad infrarossi 2016 – Sc. 1:5000, WMS-Dienst, <http://geoservizi.regione.liguria.it/geoserver/M1834/wms?version=1.3.0&request=getcapabilities> (Stand: 2017) (Zugriff: 2017-03-07).

Anschrift der Autoren:

Moritz Sandner M.Sc.

moritz.sandner@uni-hildesheim.de

Prof. Dr. Martin Sauerwein

martin.sauerwein@uni-hildesheim.de

Institut für Geographie

Universitätsplatz 1

D-31141 Hildesheim

Robin Stadtmann M.Sc.

robin.stadtmann@lbeg.niedersachsen.de

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)

Stilleweg 2

D-30655 Hannover

Informationen aus dem Institut 2017 – 2018

Im Wintersemester 2018/19 wurde eine **W2-Universitätsprofessur Geographiedidaktik** ausgeschrieben. Das Institut hofft, zum Sommersemester 2020 damit Verstärkung für die Lehramtsausbildung zu bekommen.

Seit 15.11.2018 ist **Annabell Ringel** wieder am Institut tätig. Nach Abschluss des Referendariats ist sie insbesondere für die Praxisphase im Master of Education und fachdidaktische Lehrveranstaltungen verantwortlich.

Im Labor des Instituts können wir seit 15.09.2018 **Martina Müller-Zumbrägel** als Chem.-techn. Assistentin begrüßen. Sie unterstützt insbesondere die Forschungsaktivitäten sowie das Laborpraktikum im Masterstudiengang.

Seit 01.05.2018 verstärkt **Moritz Sandner** als wissenschaftlicher Mitarbeiter das Institut. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Landschaftsdegradation und Anwendung von Fernerkundungsmethoden im Nationalpark Cinque Terre (Italien).

Hannah Graen hat zum 28.01.2018 das Institut verlassen und ist in das Referendariat gewechselt.

Im Wintersemester 2017/18 hatte **Prof. Dr. Martin Sauerwein** eine Gastdozentur für Stadtökologie an der Paris-Lodron-Universität Salzburg inne.

Seit 15.09.2017 verstärkt **Toni Schirdewahn** als Wissenschaftlicher Mitarbeiter das Institut für Geographie. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich vorsorgender Bodenschutz im Zusammenhang mit Erdverkabelungen.

Im Juli 2017 war **Prof. Dr. Martin Sauerwein** Dozent während der internationalen summer school "Sustainability of Environment and Development in Urban Regions" an der Paris-Lodron-Universität Salzburg.

Dr. Ines Bruchmann hat zum 30.06.2017 das Institut verlassen und ist zum NLWKN Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz in den Bereich "Landesweiter Naturschutz" gewechselt.

Jasmin Karaschewski hat zum 01.06.2017 ein Promotionsstipendium der Universität Hildesheim im Bereich Geoarchäologie erhalten.

Jasmin Karaschewski wurde im Mai 2017 für 2 Jahre in den erweiterten Vorstand der Jungen Geomorphologen gewählt.

Sarah Matheis ist seit 2017 externes Mitglied der AG Moorschutz der HNE Eberswalde und gestaltet die AG Sitzungen durch Beiträge aktiv mit.

Erfolgreich konnten folgende **Promotionen** abgeschlossen werden:

- **Gudjons, Ines:** Kulturen und der Klimawandel – Eine empirische Studie zum Umweltbewusstsein deutscher und spanischer Studierender. (2017, Betreuer: Prof. Sauerwein)
- **Herrmann, Nico:** Die Bedeutung hangumgelagerter Substrate für die Bodengenese auf Carbonatgestein im Westmediterraneanraum. – Ein Fallbeispiel aus der portugiesischen Estremadura. (2018, Betreuer: Prof. Sauerwein)

2018 erfolgte die erste **Habilitation** am Institut: **Dr. Christopher Poeplau** (Thuenen-Institut Braunschweig) habilitierte sich mit *“Soil organic carbon in the ‘Anthropocene’. Human Pressure on an important natural resource via agricultural management and climate change.”* im Fachgebiet Physische Geographie/Geoökologie und ist nun als Privatdozent mit regelmäßigen Lehrveranstaltungen am Institut tätig.

Folgende **Drittmittelprojekte** konnten eingeworben werden:

- Einrichtung eines **Bodenlehrpfades** im NSG Giesener Teiche (Hildesheim) (Sauerwein/Herrmann/Stadtmann)
Finanzierung: Niedersächsische BINGO-Umweltstiftung
- **Summer school** “Urban Ecosystem Services and Management – European Approach” (Sauerwein)
Finanzierung: DAAD

Vom Institut wurden folgende **Tagungen** ausgerichtet:

- **4. Hildesheimer Bodenkonzferenz** am 19.10.2017 (in Kooperation mit BVB Bundesverband Boden und Landkreis Hildesheim)
- **Bildung für nachhaltige Entwicklung – aktuelle Herausforderungen für die Forschung** am 27./28.10.2017 (in Kooperation mit der Forschungsgruppe Nachhaltigkeit und Bildung der Universität Hildesheim und der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft)
- **12. Jahrestagung der Jungen Geomorphologen**: Vom 25. bis 27. Mai 2018 wurde das „12th International Young Geomorphologists’ meeting 2018“ des Arbeitskreises für Geomorphologie in Stadoldendorf organisiert. 49 Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern (Bachelor, Master, PhD und PostDocs) aus Deutschland, Österreich, Italien, Slowenien, Indien und der Schweiz stellten ihre Forschungsergebnisse im Rahmen von Vortrags- und Posterbeiträgen zur Diskussion. Die englischsprachige Tagung wurde in 4 thematische Sessions unterteilt (“Paleoenvironmental Research”, “Hard rocks and hard wood”, “Soil erosion, human impact and fluvial morphology” und “Spotlights”), die durch einen „After Dinner Talk“ (Prof. A. Lang, Universität Salzburg), eine „Keynote lecture“ (Dr. P. Fischer, Universität Mainz) und eine Exkursion (Jun.-Prof. A. Kirchner, Universität Hildesheim) ergänzt wurde.
- **Methodenworkshop „Multidisciplinary subsurface exploration – Direct-Push, Vibracoring and ERT“**: In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. A. Vött (Universität Mainz), wurde ergänzend zur Jahrestagung der Jungen Geomorphologen am 28. und 29. Mai 2018 ein Methodenworkshop organisiert. Vor historischer Kulisse erhielten 20 nationale und internationale Teilnehmerinnen und Teilnehmer (Master und PhD Studierende) die Möglichkeit, praktische Erfahrungen auf dem Gebiet geomorphologischer Geländemethoden (z.B. Direct-Push, Gleichstrom-geoelektrik, GNSS Vermessung, Rammkernsondage) zu sammeln.
- Im Juli 2018 fand in Hildesheim zum ersten Mal eine von Prof. Dr. M. Sauerwein beim DAAD eingeworbene 10-tägige **summer school** zum Thema **“Urban Ecosystem Services and Management – European Approach”** statt. Teilnehmende waren 30 Master- und PhD-Studierende aus Polen, Österreich, Slowakei und von der Universität Hildesheim. Als Lehrende waren - neben Prof. Dr. Martin Sauerwein und Moritz Sandner - Prof. Dr. Andrzej Mizgajski und Ass.-Prof. Iwona Zwierzchowska (Univ. Poznan/Polen), Prof. Dr. Jürgen Breuste (Univ. Salzburg/Österreich), Prof. Dr. Junxiang Li (East China Normal Univ. Shanghai/China), Ass.-Prof. Dr. Attila Attila Tóth (Univ. Nitra/Slowakei), Assoc.-Prof. Dr. Doris Damyanovic (Univ. für Bodenkultur Wien/Österreich), Prof. Dr. Harald Zepp (Ruhr-Univ. Bochum), Dr. Martina Artmann (IÖR Dresden) und Johannes Hermes (Leibniz-Univ. Hannover) beteiligt.

Auch 2017 und 2018 war das Institut aktiv auf **nationalen** und **internationalen Tagungen** vertreten:

- Forschungskolloquiums der AG Moorkunde und Paläoökologie, Universität Greifswald, Januar 2017: Vorstellung des Promotionsvorhabens, Sarah Matheis
- OSCE-Tagung, Belgrad, März 2017: Prof. Dr. M. Sauerwein
- Norddeutscher Schulgeographentag, Hamburg, März 2017: Leitung eines Arbeitskreises durch Prof. Dr. M. Sauerwein
- Moorschutz in Niedersachsen – Ein Erfahrungsaustausch, Schneverdingen, Mai 2017: S. Matheis und H. Graen
- Jahrestagung des AK Geoarchäologie, Erlangen, Mai 2017: Prof. Dr. A. Kirchner und J. Karaschewski
- Jahrestagung des AK Junge Geomorphologen, München, Mai 2017: Prof. Dr. A. Kirchner und J. Karaschewski
- Geländeworkshop der AG Paläopedologie, Limburg, Juli 2017: R. Stadtmann, J. Karaschewski
- Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Göttingen, September 2017: . Herrman, R. Stadtmann, J. Karaschewski
- Jahrestagung und Exkursion der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde, Hunsrück, September 2017: S. Matheis
- Deutscher Kongress für Geographie, Tübingen, Oktober 2017: Session-Leitung und zwei Vorträge von Prof. Dr. M. Sauerwein
- New Rural Geographies in Europe, Braunschweig, 2017: Vortrag, Dr. Sabine Panzer-Krause
- AK Organisatorische Netzwerkforschung, Heidelberg, 2017: Vortrag, Dr. Sabine Panzer-Krause
- EGU General Assembly Wien, April 2018: Prof. Dr. A. Kirchner “Co-Convener” und Sitzungsleiter der session “Deciphering human-environmental interactions during the late Quaternary as lessons for the Anthropocene – prospects and challenges in geoarchaeology”
- AK Geoarchäologie, München, Mai 2018: Prof. Dr. A. Kirchner und J. Karaschewski
- Central European Conference on Geomorphology and Quaternary Sciences, Gießen September 2018: Prof. Dr. A. Kirchner Sitzungsleitung der session „Fluvial geomorphology“, J. Karaschewski
- AK Junge Geomorphologen, Stadtoldendorf, Mai 2018: Prof. Dr. A. Kirchner, N. Herrmann, J. Karaschewski
- 11. Jahrestagung der Jungen Geomorphologen, München, Mai 2018: Prof. Dr. A. Kirchner und J. Karaschewski
- Moorschutz in Niedersachsen – Ein Erfahrungsaustausch, Schneverdingen, Juni 2018: S. Matheis
- GI_Forum, Salzburg, Juli 2018: M. Sandner
- IALE Jahrestagung Hannover, September 2018: Posterpräsentationen, Prof. Dr. M. Sauerwein und M. Sandner
- SURE Symposium Poznan/Polen, Oktober 2018: Prof. Dr. M. Sauerwein
- Moore in Europa – Bestand, Bedrohung, Schutz und Wiederherstellung, Criewen, Oktober 2018: S. Matheis-Kist
- AK Fernerkundung, Oktober 2018, Heidelberg: M. Sandner
- Niedersächsische Moorlandschaften, LBEG Hannover, November 2018: S. Matheis-Kist
- Symposium Wahrnehmung und Bewertung von Böden in der Gesellschaft, UFZ Leipzig, Oktober 2018: T. Schirdewahn
- Geolnno, Barcelona, 2018: Vortrag, Dr. Sabine Panzer-Krause
- RSA Annual Conference, Lugano, 2018: Vortrag, Dr. Sabine Panzer-Krause

Im Wintersemester 2017/18 und im Wintersemester 2018/19 fand das **Forschungskolloquium Physische Geographie/Geoökologie** mit folgenden, zum Großteil externen, Referent/Innen und Themen statt:

- *Toni Schirdewahn* (Universität Hildesheim): Räumliche und zeitliche Variabilität von pflanzenverfügbarem Schwefel in Thüringer Ackerböden.
- *Dr. Dirk Nowacki* (Goethe-Universität Frankfurt am Main): Geoökologische Untersuchungen an den Sedimenten des Paläosees 'Lacul Gorgana' (Südrumänien), unter Verwendung des Multi-Proxy Ansatzes.
- *Johannes Schmidt* (Universität Leipzig): Karlsgraben 2.0 – Zwischen Geoarchäologie, Geomorphologie und Geoinformationssystemen.
- *Dr. Philipp Schulte* (RWTH Aachen): Korngrößenanalysen und ihre Einsatzmöglichkeiten in der Geomorphologie/Geoarchäologie.
- *Dr. Dennis Wilken* (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel): Geophysikalische Prospektionsmethoden und ihr Einsatz in der Geoarchäologie.
- *Andrea Junge* (Justus-Liebig-Universität Giessen): Evaluierung historischer Zisternen der Negev Highlands (Israel) als archäologisches Archiv und Paläoumweltarchiv.
- *Mathias Deutsch* (Universität Göttingen): *Hochwasserereignisse in Thüringen von 1500 bis 1990*.
- *Jonas Splietker* (Fachhochschule Südwestfalen). Umsetzung des Bodenschutzes auf Erdkabeltrassen in Bauausführung und Rekultivierung.
- *Robin Stadtmann* (LBEG Hannover / Universität Hildesheim): „Netzwerke Wasser“ in Niedersachsen - Klimawandelbedingte Anpassungsstrategien in der regionalen Wasserbewirtschaftung mit Fokus auf Beregnungsbedarfsprognosen für die Landwirtschaft.
- *Simon Meyer-Heintze* (Universität Würzburg): Holozäne Landschafts- und Bodenentwicklung unter dem Einfluss des Menschen in Mittelfranken.

Im Sommersemester 2017 und im Sommersemester 2018 wurden in Kooperation mit der Biologie und dem Green Office der Universität die interdisziplinäre **Ringvorlesung Umwelt und Nachhaltigkeit** durchgeführt. Externe Referent/Innen waren auf Einladung der Geographie:

- *Matthias Krebs* (Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Universität Greifswald): Die globale Bedeutung der Moore für Natur- und Klimaschutz & Paludikultur – Moorschutz durch Moornutzung.
- *Olaf Tschimpke* (Präsident des NABU Deutschland): Nachhaltigkeit, Naturschutz & NABU – Herausforderungen für die Wissenschaft und Forschung.
- *Bernd Nienhaus* (PBN Planungsbüro, Raesfeld): Pilotprojekt Erdverkabelung 380kV Höchstspannung in Raesfeld.
- *Dr. habil. Udo Nehren* (Institute for Technology and Resources Management in the Tropics and Subtropics, Technische Hochschule Köln): Das Konzept ökosystemarer Dienstleistung und seiner Anwendung am Beispiel tropischer Ökosysteme.
- *Dr. Ernst Gehrt* (Niedersächsisches Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover): Am Anfang war das Feuer – oder – Was haben die Neolithiker mit den Schwarzerden zu tun?
- *Prof. Dr. Lars Fehren-Schmitz* (Anthropology Department, University of California Santa Cruz): Mensch-Umwelt-Systeme im (Klima-) Wandel: Bevölkerungsentwicklung der prähistorischen Anden.
- *Dr. Thomas Giesecke* (Abt. Palynologie und Klimadynamik, Universität Göttingen): Sind Pflanzenarten durch die Erderwärmung bedroht? - Einsichten aus der Vegetationsgeschichte.

- *Martin Komander* (Klimaschutzagentur Hildesheim-Peine): Klimaschutz im LK Hildesheim - Herausforderungen und Umsetzung auf lokaler/regionaler Ebene.
- *Dr. Matthias Naumann* (Institut für Geographie, TU Dresden): Energiedemokratie. Beiträge einer kritischen Energiegeographie.
- *Dr. Christian Schneider* (Institut für Geographie, Universität Leipzig): Der Einfluss kleinbäuerlicher und industrialisierter Agrarsysteme auf geoökologische Eigenschaften und Degradation von Böden in Lösslandschaften Mitteleuropas.
- *Dr. Eick von Ruschkowski* (NNA Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz Niedersachsen): Von Kormoranen, Bibern, Luchsen und Wölfen: Warum es der Naturschutz zwischen Rationalität und Emotionalität so schwer hat.

Das Institut ist federführend bei Aktivitäten des **Bodenbündnisses Hildesheim**. Im Rahmen der geplanten Erdverkabelungsprojekte wurden folgende Veranstaltungen besucht:

- Dialog Erdverkabelung und Bodenschutz mit dem Arbeitskreis umweltfreundliche Erdverkabelung im Hildesheimer Land, Mölme, Dezember 2017: Prof. Dr. M. Sauerwein, T. Schirdewahn
- Umwelt-Dialog zum Bodenschutz der Bundesnetzagentur, Bonn, Juni 2018: T. Schirdewahn
- Bundesverband Boden Regionalgruppentreffen zur Besichtigung des Erdkabel-Pilotprojektes in Raesfeld, Raesfeld, Juli 2018: T. Schirdewahn
- Konferenz zum Umweltschonenden Ausbau des Stromnetzes im Zuge der Energiewende, Ottbergen, Dezember 2018: Prof. Dr. M. Sauerwein, T. Schirdewahn

2017 und 2018 fanden jeweils zwei **Große Auslandsexkursionen** statt. Eine führte 2017 unter Leitung von **Dr. Sabine Panzer-Krause und Prof. Dr. André Kirchner** nach **Irland**, die zweite unter Leitung von **Prof. Dr. Martin Sauerwein und Robin Stadtmann** nach **Sardinien**. 2018 waren **Dr. Sabine Panzer-Krause und Toni Schirdewahn** mit Studierenden in **Irland**, **Nico Herrmann** auf **Teneriffa**.

Im September 2017 und im September 2018 fanden unter Leitung von **Prof. Dr. André Kirchner** zwei mehrtägige **Geländekampagnen** im Unstrut-Einzugsgebiet in **Nordwestthüringen** mit Unterstützung der studentischen Initiative **BoKuHiLa** (Bodenkunde Hildesheimer Land) statt. Erfolgreich wurden mehrere **Bohrungen** in der Untstrutau abgeteuft und Bodenprofile angelegt, um landschaftsgenetische und nutzungshistorische Fragestellungen zu beantworten.

Im September 2018 führten **Prof. Dr. Martin Sauerwein, Moritz Sandner** und **Robin Stadtmann** eine einwöchige **Geländekampagne** im Nationalpark **Cinque Terre (Italien)** durch.

Sowohl im Jahr 2017 als auch 2018 haben sich die Mitarbeiter des Instituts für Geographie in Seminaren und hochschulinternen **Weiterbildungsveranstaltungen** weiterqualifiziert:

Hochschuldidaktik

- Erwerb des **hochschuldidaktischen Zertifikats** der Universität Hildesheim in Kooperation mit dem Kompetenzzentrum Hochschuldidaktik für Niedersachsen (TU-Braunschweig): Dr. Sabine Panzer-Krause (2017), S. Matheis (2017)

Fachspezifische Seminare

- Seminar und Exkursion zu Moor und Torf, Zeven, Mai 2017: Sarah Matheis
- Torfmoosbestimmungskurs, Winzlar, August 2017: Sarah Matheis
- EO4Alps Summer School, Salzburg, Juni/Juli 2018: M. Sandner

Für **Geländearbeiten** wurde in die Anschaffung einer sog. „**Drohne**“ investiert. Zur Anfertigung von hochauflösenden Luftbilddaufnahmen wurde im Dezember 2018 ein unbemanntes Luftfahrzeug/UAV (Unmanned Aerial Vehicle) angeschafft (Modell: DJI Phantom 4 Pro V2.0).

Der **Laborausbau** ist weiter vorangeschritten. So wurde die **Ionenchromatographie** (Metrohm 883 Basic IC plus) als weitere etablierte Methode zur Bestimmung verschiedener Nährstoffe aus Boden-, Pflanzen- und Wasserproben in das Analysespektrum aufgenommen. Im Bereich der Bodenphysik wurde das Labor um eine Anlage zur **Bestimmung von pF-WG Kurven** erweitert. Dieses kombinierte Verfahren, bestehend aus einer Unterdruckapparatur (**pF-Laborstation** der Firma EcoTech) sowie einer Überdruckapparatur (**Membranpresse** der Firma Eijkelkamp), dient zur Bestimmung von Parametern des Bodenwasserhaushalts wie beispielsweise Porengrößenverteilung und nutzbare Feldkapazität.

Für die inhaltliche Vertiefung von Arbeiten in Lehre und Forschung konnten 2017/2018 neue, schriftliche **Kooperationsvereinbarungen** abgeschlossen werden:

- Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Thüringen
- Klimaschutzagentur Hildesheim-Peine
- Zweckverband Presseler Heidewald- und Moorgebiet
- Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit
- Mühlhäuser Museen

Aktivitäten der studentischen Initiative AG BoKuHiLa Bodenkunde Hildesheimer Land

Im Jahr 2013 als studentische Initiative gegründet, befasst sie sich auf freiwilliger Basis mit Böden und ihrer Ansprache im Gelände. Vor dem Hintergrund, Studierenden ohne Benotung und damit ohne Leistungsdruck die Erschließung dieses wichtigen Themas unter wissenschaftlicher Betreuung durch das Institut zu ermöglichen, werden gemeinsame Arbeitsexkursionen unternommen.

Auch 2017 und 2018 fanden zahlreiche Aktivitäten statt:

- Januar 2017 Wochenendexkursion in den **Harz**;
- Aktive Teilnahme an der **Geländekampagne** in Nordwestthüringen im September 2017;
- Januar 2018 Wochenendexkursion in den **Ith**;
- gemeinsame Teilnahme einiger AG Mitglieder an der Jahrestagung des **Arbeitskreises Geoarchäologie** in München;
- Mehrere **Tagesexkursionen** im Landkreis Hildesheim, Bodenprofilansprache.

HILDESHEIMER GEOGRAPHISCHE STUDIEN

Band 1 (2013)

Lars Germershausen: Auswirkungen der Landnutzung auf den Schwermetall- und Nährstoffhaushalt in der Innersteaue zwischen Langelsheim und Ruthe. Dissertation

Band 2 (2013)

Varia

Band 3 (2014)

Ann-Christin Schock: Befragung von Schüler/innen der Sekundarstufe I zu Naturerfahrung und Geomedien im Kontext von BNE. Dissertation

Band 4 (2014)

Varia

Band 5 (2015)

Varia

Band 6 (2016)

Varia

Band 7 (2017)

Ines Gudjons: Kulturen und der Klimawandel – eine empirische Studie zum Klimabewusstsein deutscher und spanischer Studierender. Dissertation

Band 8 (2018)

Nico Herrmann: Die Bedeutung hangumgelagerter Substrate für die Bodengenese auf Carbonatgestein im Westmediterraneanraum. – Ein Fallbeispiel aus der portugiesischen Estremadura. Dissertation

ISBN 978-3-96424-024-8

