TRANSFORMATION DYNAMICS

2025 | Band 02

Reallabore in Marsch, Moor, Geest und Mee(h)r



Zeitschrift für regionale,soziale, ökologische und technologische Nachhaltigkeits-Transformationen

Transformation Dynamics

Zeitschriftenherausgeber
Burghart Schmidt
Roland Pesch
Broder Breckling

Editorial-Board:
Barbara Grabkowsky
Traugott Haas
Manfred Kayser
Marco Rieckmann
Andrea Teti
Johannes Wilking

Burghart Schmidt | Roland Pesch | Broder Breckling

Reallabore in Marsch, Moor, Geest und Mee(h)r

2025

Umschlagmotiv:
Zuschnitt von: Ricardo Gomez Angel,
Veröffentlicht am 1. März 2017.

Satz, Umschlaggestaltung und Layout:
Johanna Luhmann

DOI: 10.23660/voado-595
ISSN: 2510-9766

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

Diese Publikation ist frei verfügbar zum Download unter

Die Lizenz erlaubt Download und Weiterverteilung des Werkes unter Nennung des Autoren/Autorinnen-Namens, jedoch keine Bearbeitung oder kommerzielle Nutzung durch Dritte, siehe https://creativecommons.org/licenses/?lang=de

Inhalt

I. Editorial 7
Burghart Schmidt

II. In memoriam: Egon Becker (*2. 11. 1936 †15. 11. 2024) 9
Broder Breckling

1. Transformationsprozesse im Nordwesten Niedersachsens: Klimafolgen und deren Wahrnehmung auf den Ostfriesischen Inseln 17
Gesa Witt, Amelie Bernzen

2. GIS-gestützte Konnektivitätsanalyse historisch alter Waldstandorte im Ammerland (Niedersachsen) auf naturschutzfachlicher Grundlage und faunistischer Datenbasis 31
Friedrich Wenzel, Fokko Mittelstaedt, Fynn Scharpen, Hannes Foth, Sarah Ley

3. Feldrain-Photovoltaik als innovatives Element zur Bereicherung des agrarisch genutzten Landschaftsraumes und seiner nachhaltigen Transformation 67
Manfred Kayser, Christine Aka, Armando W. Colombo, Johannes Isselstein, Johannes Rolink, Sven Steinigeweg, Karen Baumann, Marie Scheffler, Hannes Foth, Broder Breckling

4. Die Kolonie Hudermoor: Nutzungswandel und Landsenkung im Laufe der Jahrzehnte 81
Lara Janßen, Philipp Sanders, Valentin Sauerbier

5. Virtuelle Rekonstruktion der Ruine der Klosterkirche in Hude mit Hilfe von Augmented Reality 95
Timo Breilmann, André Brouer, Miriam Krusch

6. Digitalisierung in der Pflege – zwischen Ideal und Realität 115
Lihui Yin

7. Transformationsforschung zu Anwendungen der Künstlichen Intelligenz erfordert einen Fokus auf emergente Eigenschaften 129
Broder Breckling

8. Erreichbarkeiten in ländlichen Räumen Niedersachsens am Beispiel Dunum - Abhängigkeit vom Auto? 149
Jonas Schoo, Rainer Schwerdhelm

9. Austausch über Transformations-Dynamiken im Nordwestlichen Niedersachsen: Bericht vom 4N Jahrestreffen am 28./29. Oktober im Industriemuseum in Lohne 173
Burghart Schmidt, Broder Breckling

Transformation Dynamics

Editorial

Burghart Schmidt

Transformation ist kein Zustand, sondern ein Prozess – ein komplexes Geflecht aus ökologischen, technologischen, wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Veränderungen, die sich in vielfältigen räumlichen Kontexten unterschiedlich entfalten.

Der vorliegende Band „Transformation Dynamics" widmet sich dieser Prozesshaftigkeit des Wandels und richtet den Blick auf die Dynamiken, die ihn in ländlichen Räumen antreiben, strukturieren und prägen. Dabei steht nicht nur die Analyse der stattfindenden Veränderungen im Mittelpunkt, sondern ebenso die Frage nach praxisorientierten Lösungsansätzen, die den Übergang zu resilienten und nachhaltigen Zukunftsräumen unterstützen können.

Die hier versammelten Beiträge verdeutlichen eindrucksvoll, dass ländliche Räume – häufig unterschätzt in der gesellschaftlichen Wahrnehmung – ein zentrales Experimentierfeld für Transformation sind. Sie zeigen, wie tiefgreifend ökologische und technologische Veränderungen die lokalen Lebenswelten beeinflussen, und wie wichtig es ist, diese Dynamiken in ihrem jeweiligen Kontext zu verstehen.

So wird etwa die Wahrnehmung von Klimafolgen auf den Ostfriesischen Inseln untersucht – ein Beispiel, das verdeutlicht, wie sehr physische Umweltveränderungen, kulturelle Identität und sozioökonomische Anpassungsstrategien miteinander verflochten sind.

Ein weiterer Beitrag widmet sich der raumzeitlichen Analyse ökologischer Netzwerke: GIS-gestützte Konnektivitätsanalysen historisch alter Waldstandorte im Ammerland zeigen, wie Landschaftsplanung und Biodiversitätsschutz auf digitalen Grundlagen neu gedacht werden können. Solche Ansätze verbinden ökologische Forschung mit der Frage nach landschaftlicher Resilienz – und tragen dazu bei, nachhaltige Entwicklung datenbasiert zu steuern.

Zitation: Schmidt, B. Editorial Transformation Dynamics 2025, 2, I. (S. 9-10). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Gleichzeitig wird der ländliche Raum zunehmend zum Schauplatz technischer Innovationen. Projekte wie Feldrain-Photovoltaik eröffnen neue Perspektiven darauf, wie Energiegewinnung, Biodiversität und landwirtschaftliche Nutzung zusammen gedacht werden können. Solche Konzepte greifen die Idee der „multifunktionalen Landschaft" auf und illustrieren, dass Transformation auch eine gestalterische Dimension hat: Sie erfordert Kreativität, Offenheit und die Bereitschaft, etablierte Nutzungslogiken zu hinterfragen.

Wie sehr Transformations- und Veränderungsprozesse in der Landnutzung sich über Jahrzehnte hinweg auf Wirtschaft und Gesellschaft auswirken zeigt in diesem Kontext die Kolonie Hudermoor, die im 19. Jahrhundert auf Initiative des Großherzogtums Oldenburg zur landwirtschaftlichen Erschließung ehemals marginaler Standorte etabliert wurde.

Technologische Entwicklungen verändern zudem unsere Art, Räume wahrzunehmen und zu gestalten. Anwendungen von Augmented Reality in der kulturellen Gestaltung oder die Digitalisierung handlungspraktischer Prozesse in der Pflege zeigen, dass Transformation nicht nur in der physischen Umwelt stattfindet, sondern auch in den sozialen und epistemischen Infrastrukturen unserer Gesellschaft. Transformation ist damit ebenso ein kultureller wie ein technologischer Prozess.

Schließlich verweist die Auseinandersetzung mit künstlicher Intelligenz auf die Notwendigkeit, emergente Eigenschaften in der Transformationsforschung stärker in den Blick zu nehmen. KI-Anwendungen in der Raumforschung, Umweltbeobachtung oder Planung eröffnen neue methodische Horizonte – zugleich erfordern sie ein neues Verständnis von Komplexität, Dynamik und Unvorhersehbarkeit. Transformation wird hier nicht mehr nur als gesteuerter Prozess, sondern als sich selbst organisierendes, adaptives System sichtbar.

In der Gesamtschau fügt sich der zweite Band der Publikationsreihe Transformat ion Dynamics in die aktuellen Diskurse zu Transformation und Nachhaltigkeit ein, wie sie etwa im Kontext der Agenda 2030, der Großen Transformation (WBGU) oder der European Green Deal-Initiativen geführt werden. Er zeigt, dass Nachhaltigkeit nicht allein ein normatives Ziel, sondern ein dynamisches Aushandlungsfeld ist – eines, das nur im Zusammenspiel von Wissenschaft, Praxis und Gesellschaft verstanden und gestaltet werden kann.

„Transformation Dynamics" versteht sich damit als Beitrag zu einem interdisziplinären Verständnis von Wandel – als Einladung, Transformation nicht nur zu erforschen, sondern sie aktiv zu gestalten: wissensbasiert, partizipativ und mit einem klaren Blick für die Potenziale und Herausforderungen ländlicher Räume im 21. Jahrhundert.

Transformation
Dynamics

In memoriam:
Egon Becker (*2. 11. 1936 †15. 11. 2024)
Einer der wegweisenden Vordenker der sozialökologischen Transformation



Egon Becker 2013[1]

1 Foto: Jürgen Mai – Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) CC BY-SA 4.0, https://de.wikipedia.org/wiki/Egon_Becker#/media/Datei:Egon_Becker_am_Fenster.jpg SW. Layout adaptiert.

Ein Rückblick auf Initiativen zur Entwicklung der Sozialökologischen Forschung

Die anthropogene Veränderung von Natur, die Entwicklung von Kulturlandschaften und die Gestaltung von Urbanität – vom kleinen Garten bis zur Biosphäre ist Ausdruck gesellschaftlicher Tätigkeit.

Die dabei zur Wirkung kommende Struktur und die Verfasstheit des sozialen Zusammenhanges wirken auf der einen Seite einer Wechselbeziehung. Die andere ist die Rückwirkung der Natur auf die Gesellschaft, denn von den Eigenschaften des ökologischen Systems hängt es ab, ob die transformierenden Interventionen die für den gesellschaftlichen Stoffwechsel notwendigen Inputs bereitstellt.



"Keine Gesellschaft ohne Natur." (Becker 2016) war eine Grundüberzeugung, die Egon Becker verfolgt hat als einer derer, die eine interdisziplinäre Aktualisierung der erkenntnismäßigen Durchdringung und Mitgestaltung dieses Verhältnisses als explizites Forschungsparadigma mit etabliert und weitblickend vorangetrieben hat.

Natur wird gestaltet.

- Auf die möglichen Gestaltungsoptionen und auf die Gestaltenden selbst wirkt das ökologische Gefüge zurück, direkt und auf indirektem Wege über ein vielfältig wirkendes Netzwerk von Rückkopplungsprozessen.

Die natürlichen Gegebenheiten eröffnen Optionen.

- Sie stellen für Menschen nutzbare Leistungen bereit. Das sind die sogenannten Ökosystem-Dienstleistungen in Form von Produktiv-Funktionen, Regeneration, Absorption und Filter-Funktionen bis hin zu ästhetischen Potenzialen (Millenium Ecosystem Assessment 2005). Sie setzen aber auch den Rahmen, der das Erreichen der Nutzungsziele ermöglichen oder potenziell scheitern lassen kann.

Die sozialökologische Forschung verfolgt das Ziel, die Möglichkeiten und Konsequenzen auf der Basis dieses Wechselverhältnisses zu analysieren. Gesellschaftliche Naturverhältnisse zu ergründen geht nur über die etablierten Fachgrenzen hinweg. Alleinig können dabei weder soziologische Methoden noch ökologische Methoden erkenntnisleitend wirken.

So wenig neu diese Einsicht ist, so persistent erweisen sich in der realen Forschungspraxis die fest etablierten disziplinären Maßstäbe. Es bestätigt sich immer wieder, dass ausgesprochen umfangreiche Konzeptions-, Übersetzungs- und Vermittlungsanstrengungen erforderlich sind, um die bestehenden Sektor-Grenzen zu durchdringen.

Zum Gelingen dieser notwendigen Brückenschläge hat Egon Becker maßgeblich beigetragen. Von ihm initiierte, wesentlich mit getragene und stets in kooperativen Gemeinschaftsleistungen umgesetzte Studien halfen wirksam, das Arbeitsgebiet der gesellschaftlichen Naturverhältnisse als einen Grundbestand der Nachhaltigkeitsforschung zu etablieren. Die Forschungsgruppe Soziale Ökologie lieferte mit Egon Becker als Sprecher 1987 eine konzeptionelle Grundlage, die entscheidend beitrug, in den 1990iger Jahren das Frankfurter Institut für Sozialökologische Forschung (ISOE) zu gründen und eine institutionelle Förderung auf den Weg zu bringen (https://www.isoe.de/). Das ISOE leistete in seinem erfolgreich sich entwickelnden Aufbau wichtige Beiträge zur Sondierung, Ausformung und Durchführung des Förderprogramms zur sozialökologischen Forschung beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), deren Resultate Balzer und Wächter 2002 zusammenfassten. Zahlreiche Projekte mit vielen praktischen Beiträgen halfen, den heute umfangreichen Förderbereich Forschung für Nachhaltigkeit zu formieren (https://www.fona.de/), der heute eine bedeutende Position in der

Förderung des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt einnimmt und der ein wichtiger Antrieb innovativer transformativer Prozesse ist – mit einer Ausstrahlung in viele gesellschaftliche Bereiche (https://www.fona.de/de/info/newsletter/).

Beachtenswert ist, dass die synoptischen Antriebe in der Sozialökologie, zu Forschungsstrategien und Konzepten wie auch in der engagiert vorangetriebenen Entwicklung praktischer Lösungen nicht ausgehend von den Biowissenschaften hinüber zu den Gesellschaftswissenschaften oder umgekehrt erfolgte. Egon Becker betrieb das Themenfeld der sozialen Ökologie ausgehend von einem Qualifikationshintergrund, der von vornherein auf eine Meta-Perspektive angelegt ist, der geübt war, auf den Gebieten der Wissenschaftstheorie, der Hochschulforschung, Didaktik und Erkenntnistheorie auf einer naturwissenschaftlich-physikalischen Basis zu verbinden, anschlussfähig für weitere Disziplinen beispielsweise aus den Ingenieurswissenschaften.

Das Forschungsgebiet, das Egon Becker als Sozialökologische Forschung mit eröffnet hat, ist heute in der aktuellen Wissenschaftsentwicklung breit verankert und intensiv verknüpft mit der Klimawissenschaft, der Ausgestaltung und Bewertung digitaler Potenziale, ruraler, urbaner und kommunaler Planungsprozesse – und damit zusammengenommen zum Feld der sozial-ökologischen Transformationsprozesse. Transformationswissenschaft und Transformationsforschung, die aktuell ein hohes Maß an Aufmerksamkeit gewinnen, die beitragen die Komplexität der Wege zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen zu verstehen und umzusetzen, wurden bereits früh von ihm mit vorgezeichnet (Becker et al. 1997, Becker et al. 2001). Als wegweisend für den Fortgang der sozialökologischen Forschung kann seine Publikation zusammen mit Thomas Jahn (2006) angesehen werden.

Wenn wir heute auf das Leben und das wissenschaftliche Wirken von Egon Becker zurückblicken, stellen wir fest, dass er an vielen Stellen des Sichtbarwerdens neuer Impulse initiativ beteiligt war. Joan Baez traf er beim Ostermarsch 1966 (https://de.wikipedia.org/wiki/Egon_Becker). In den frühen 1970igern war er beteiligt an der Bundesassistentenkonferenz. Für die Hochschulreform dieser Jahre gingen von der Bundesassistentenkonferenz wichtige Impulse zur Demokratisierung der Hochschulen aus. Für curriculare Innovationen insbesondere die frühe Einbeziehung von Studierenden in aktuelle Forschungsprozesse (das Forschende Lernen) haben sich die an der Bundesassistentenkonferenz Beteiligten nachhaltig engagiert. Von 1972 bis 2000 hatte Egon Becker in Frankfurt /M. die Professur für Wissenschafts- und Hochschulforschung inne und

nahm Gastprofessuren in Kassel, Rio de Janeiro und Mexiko-Stadt wahr. Das Institut für Sozialökologische Forschung macht seine umfangreiche Publikationsliste verfügbar (https://www.isoe-publikationen.de/publikationen/mitarbeiterbibliographien/egon-becker/) mit einer großen Zahl auch online zugänglicher Beiträge.

Seiner außerordentlichen Aufgeschlossenheit für Austausch und Kooperation und seiner Verständigungsleistung über Disziplingrenzen hinweg verdanken ihm zahlreiche Kolleginnen und Kollegen wesentliche Anregungen für ihre eigene Entwicklung und die ihrer fachübergreifenden Vernetzung. Seine Beiträge bleiben nicht nur dankbar in Erinnerung, sie wirken fort in den Erkenntnissen und Handlungsanregungen, die die Transformationsforschung erarbeitet angesichts der wachsenden Erfordernisse demografischer Veränderungen, des fortschreitenden globalen Klimawandels und der sich eröffnenden Optionen von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz, die die Gestaltung gesellschaftlicher Naturverhältnisse beeinflussen, um deren Veränderung bewusst zum Nutzen der Allgemeinheit zu lenken.

Broder Breckling
broder.breckling@uni-vechta.de
Universität Vechta, Fakultät für Geschichtswissenschaften,
Große Straße 97, 49377 Vechta

Zitiert:

Balzer, I. Wächter, M. (Hrsg.) 2002: Sozial-ökologische Forschung – Ergebnisse der Sondierungsprojekte aus dem BMBF-Förderschwerpunkt. Ökom Verlag, München.

Becker, E. 2016: Keine Gesellschaft ohne Natur. Beiträge zur Entwicklung einer sozialen Ökologie, Campus, Frankfurt am Main/New York

Becker, E., Jahn, T. 2006: Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. Campus, Frankfurt am Main/New York

Becker, E., Jahn, T., Stieß, I. Wehling P. 1997: Sustainability: A Cross-Disciplinary Concept for Social Transformations. MOST Policy Papers, 6. Paris: UNESCO

Forschungsgruppe Soziale Ökologie (Sprecher: E. Becker) 1987: Soziale Ökologie – Gutachten zur Förderung der Sozial-ökologischen Forschung in Hessen. Frankfurt / M. https://www.isoe.de/fileadmin/Edit/PDF/Publ/1987/Soziale-Oekologie-Gutachten-1987.pdf

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

Weitere Informationen zu Egon Becker auf den Seiten des Frankfurter Instituts für Soziale Ökologie

https://www.isoe.de/das-institut/team/mitarbeiterin/person/egon-becker/
https://www.isoe.de/fileadmin/Edit/PDF/Das_Institut/CV/egon-becker-cv.pdf
https://www.isoe.de/news/nachruf-auf-isoe-mitbegruender-prof-dr-egon-becker/

Transformation Dynamics

Transformationsprozesse im Nordwesten Niedersachsens: Klimafolgen und deren Wahrnehmung auf den Ostfriesischen Inseln

Gesa Witt [1, 2], Amelie Bernzen [1]

(1) Universität Vechta, Fakultät II, Driverstraße 22, 49377 Vechta
(2) Korrespondierende Autorin: gesa.witt@uni-vechta.de

Abstract

Die Ostfriesischen Inseln stehen aufgrund ihrer besonderen Lage im Wattenmeer vor erheblichen Herausforderungen durch den Klimawandel. Neben dem bereits deutlich spürbaren Temperaturanstieg sind vor allem veränderte Niederschlagsmuster, der Anstieg des Meeresspiegels sowie eine zunehmende Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten von zentraler Bedeutung. Diese Entwicklungen führen nicht nur zu ökologischen Risiken, sondern auch zu sozialen und ökonomischen Nutzungskonflikten auf den begrenzt verfügbaren Flächen der Inseln. Dieser Beitrag liefert einen kompakten Überblick über wirtschaftsgeographische Folgen des Klimawandels für die Inseln, die Wahrnehmung relevanter Akteursgruppen und deren Einfluss auf Anpassungsstrategien. Erste Ergebnisse verdeutlichen, dass die Risikowahrnehmung zwischen den Akteuren stark variiert, Verantwortlichkeiten uneinheitlich gesehen werden und Klimaanpassung oftmals technikzentriert verstanden wird. Gleichzeitig bestehen fördernde Faktoren wie institutionelle Kooperationen und regionale Entwicklungsstrategien. Neben wissenschaftlichen Erkenntnissen, die auch einen Vergleich zwischen Niedersachsen und der niederländischen Provinz Fryslân einschließen, trägt das Teilprojekt mit Diskursformaten und dem Aufbau regionaler Netzwerke zur transformativen Lösungen in der Klimaanpassung bei.

Schlüsselworte:

Klimafolgen; Klimaanpassung; Wattenmeer; Governance; Risikowahrnehmung

Zitation:

Witt, G., Bernzen, A. Transformationsprozesse im Nordwesten Niedersachsens: Klimafolgen und deren Wahrnehmung auf den Ostfriesischen Inseln. Transformation Dynamics 2025, 2, 1. (S. 17 - 29). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Die Folgen des Klimawandels für die Ostfriesischen Inseln

Das Wattenmeer ist als einzigartiges Ökosystem und Lebensraum besonders vulnerabel und daher durch verschiedene Institutionen geschützt. So sind beispielsweise weite Teile des Wattenmeers als Nationalpark oder UNESCO-Biosphärenregion ausgezeichnet. Der Klimawandel hat verschiedene Auswirkungen auf das Wattenmeer und die Inseln, die im Folgenden exemplarisch aufgezeigt werden: In Niedersachsen ist bereits ein deutlicher Anstieg der Jahresmitteltemperatur festzustellen (+1,7 °C zwischen 1881-2021), der deutlich über den Anstieg des globalen Mittels hinausgeht (+1,2 °C im gleichen Zeitraum) (NIKO 2023).

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die aktuelle bzw. erwartete Temperaturentwicklung der Klimanormalperioden von 1961 bis 2100. Die Wassertemperaturen in der Nordsee verzeichneten 2024 die höchsten Werte seit Beginn der Aufzeichnungen (BSH 2025; OOWV 2025 a und b). Eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur des Wassers hat beispielsweise eine veränderte Artenzusammensetzung in der Nordsee, wie eine vermehrte Verbreitung invasiver Arten (wie der pazifischen Auster) zufolge (von Storch et al. 2017). Für den Tourismus bedeuten höhere Durchschnittstemperaturen (sowohl der Luft als auch des Wassers) zunächst eine Möglichkeit der Saisonausweitung. Eine Zunahme an Hitzetagen macht Maßnahmen für eine Anpassung an die Bedingungen für besonders vulnerable Personengruppen wie ältere Besucher*innen, Kinder oder Schwangere nötig.

Eine weitere zu erwartende Veränderung ist die der Niederschlagsmuster. So haben beispielsweise die Winterniederschläge in Niedersachsen von 1881 – 2018 im Mittel um 20% zugenommen, bis Ende des Jahrhunderts ist eine Zunahme um weitere 20% möglich, was neben dem Nordharz vor allem die Küstenregion betreffen würde (NLWKN 2022). Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über sich verändernde Niederschläge. Veränderungen der Niederschlagsmuster und ggf. eine Zunahme an Starkregenereignissen können u.a. eine Überlastung der vorhandenen Abwasserinfrastruktur und gegebenenfalls eine Verschiebung der Saisonzeiten und der touristischen Nachfrage mit sich bringen.

Von besonderer Bedeutung für die Inseln sind zudem Meeresspiegelanstieg sowie Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten. Verantwortlich für den Anstieg des mittleren Meeresspiegels sind zum einen die Wärmeausdehnung des Wassers durch steigende Temperaturen und zum anderen zusätzliche Wassermassen, wie Schmelzwasser von Gletschern (NIKO 2023). Am Pegel Norderney ist

beispielsweise das küstenschutzrelevante mittlere Tidehochwasser seit Beginn der Aufzeichnungen (1910) um 25cm/Jahrhundert gestiegen (ebd.). Abbildung 3 zeigt durch den Anstieg des Meeresspiegels zu erwartende Überflutungsgebiete.

Bedingt durch den Meeresspiegelanstieg sind in den vergangenen Jahrzehnten Nordseesturmfluten höher und häufiger geworden, bereits heute sind Herausforderungen und Grenzen in Bezug auf bisherige Küstenschutzmaßnahmen erkennbar (Meinke & Weisse 2024).

Dies erfordert Handlungsbedarf in der Entwicklung langfristiger und wirksamerer Ansätze, da schwere Nordseesturmfluten bis Ende des Jahrhunderts bis zu 1,50 m höher auflaufen könnten, wenn der Treibhausgasausstoß anhaltend hoch bleibt (ebd.).

Klimaanpassung auf lokaler Ebene

Sogenannte „No-Regret-Maßnahmen“, die auch dann eine positive Wirkung erzielen, wenn die Klimafolgen anders eintreten als erwartet, sind besonders geeignet, um der großen Unsicherheit in Bezug auf die Richtung und Intensität der Klimaveränderungen zu begegnen (MU 2019). Vor dem Hintergrund, dass die Jahre 2023 und 2024 zu den heißesten seit Beginn der Aufzeichnungen 1850 gehörten (Copernicus 2025), sind Maßnahmen zur Minderung von Hitzestress sowie die ausreichende Versorgung mit Trinkwasser von besonderer Bedeutung. Auch wenn die Hitzebelastung vermutlich an der Küste tendenziell geringere Intensität hat als im Binnenland, wird sie absehbar auch dort über das bekannte Maß hinaus wesentlich ansteigen. Für die Inseln ohne Festlandleitung ist der Schutz der Süßwasserlinse v.a. vor eindringendem Salzwasser z.B. durch Meeresspiegelanstieg oder Sturmfluten von großer Bedeutung, um auch in Zukunft die autarke Versorgung mit Trinkwasser zu gewährleisten. Süßwasserlinsen entstehen durch versickerndes Regenwasser, das dann aufgrund seiner geringeren Dichte über dem Salzwasser schwimmt und daher zur Trinkwasserversorgung abgeschöpft werden kann. Baltrum, Langeoog und Wangerooge verfügen außerdem über eine Festlandleitung (OOWV 2024).

Auf den Ostfriesischen Inseln führen neben ökologischen Veränderungen und dem Klimawandel auch soziale und wirtschaftliche Dynamiken zu einem erhöhten Problemdruck auf die begrenzt vorhandene Fläche, was zur Entstehung von Nutzungskonflikten führt. Um langfristige und nachhaltige Lösungen zu finden gilt es, verschiedene Akteursgruppen zu berücksichtigen und ihre unterschiedlichen Positionen und

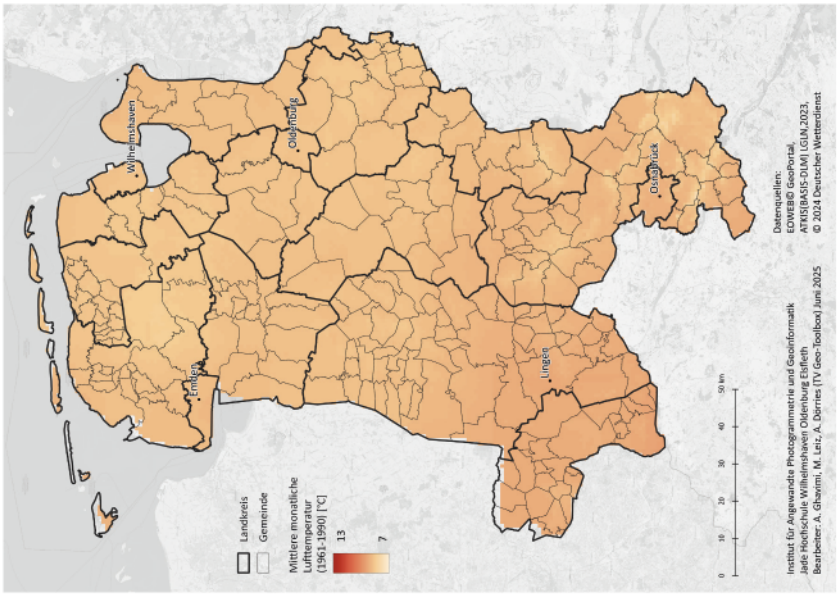


Abb 1 Mittlere monatliche Lufttemperaturen
im Nordwestlichen Niedersachsen: 1961 – 1990

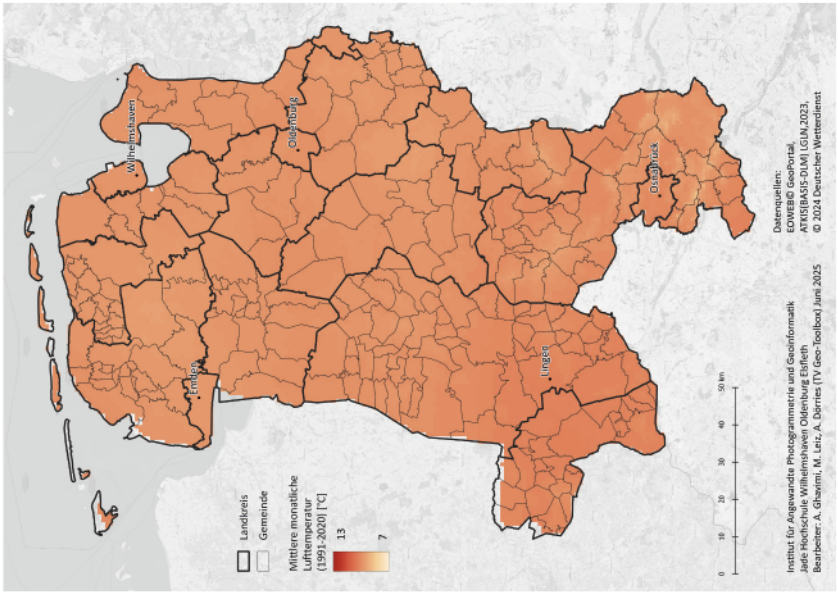


Abb 1b Mittlere monatliche Lufttemperaturen
im Nordwestlichen Niedersachsen: 1991 – 2020

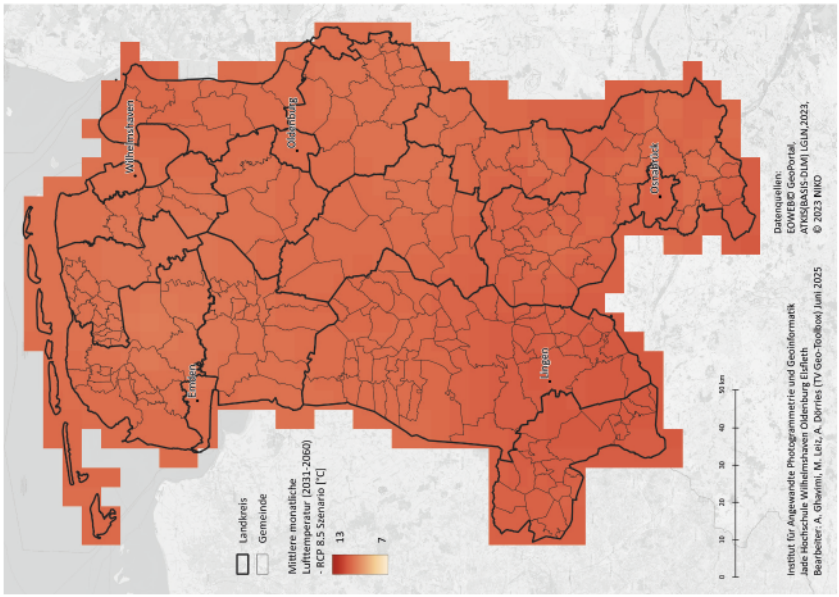


Abb 1c Mittlere monatliche Lufttemperaturen im Nordwestlichen Niedersachsen: 2031 – 2060

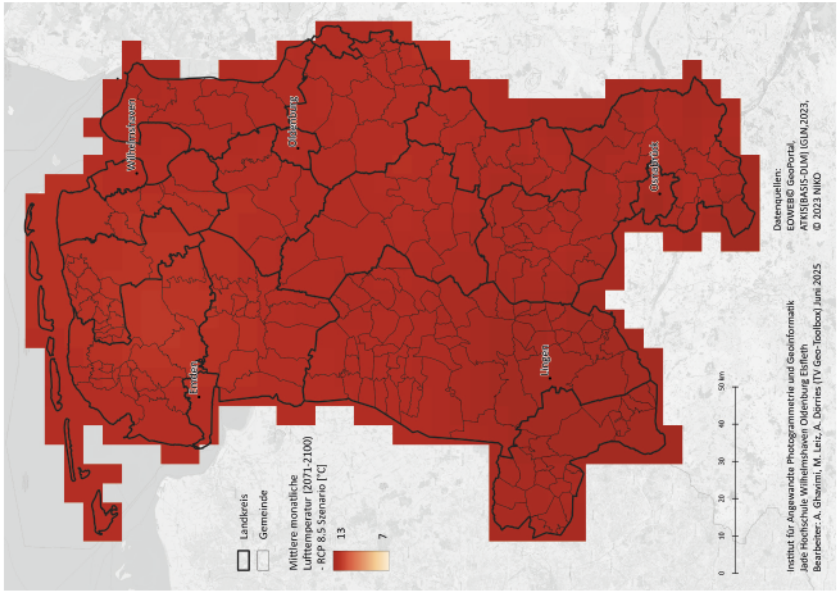
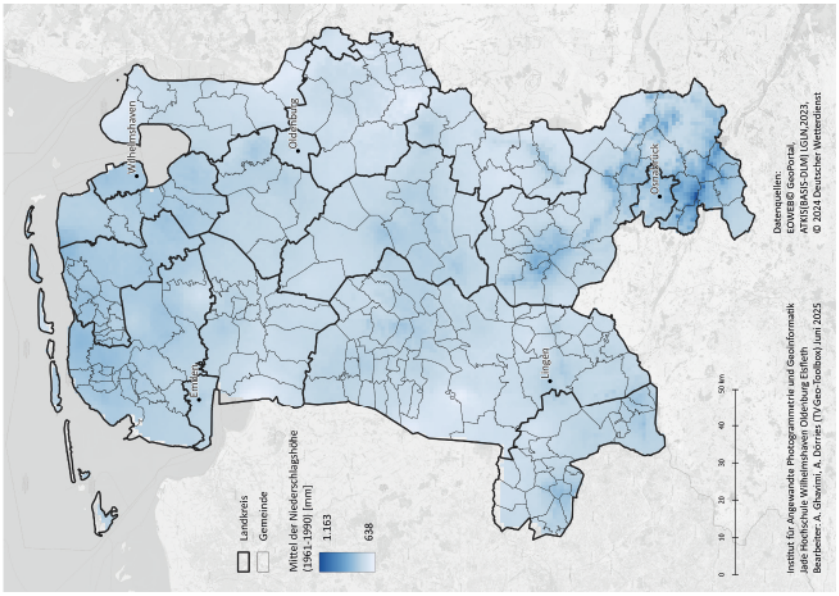


Abb 1d Mittlere monatliche Lufttemperaturen im Nordwestlichen Niedersachsen: 2071 – 2100



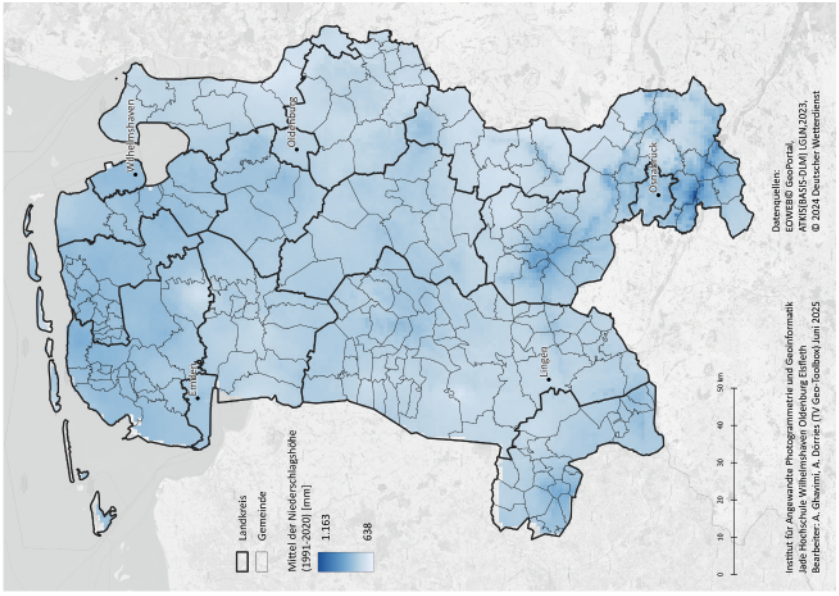
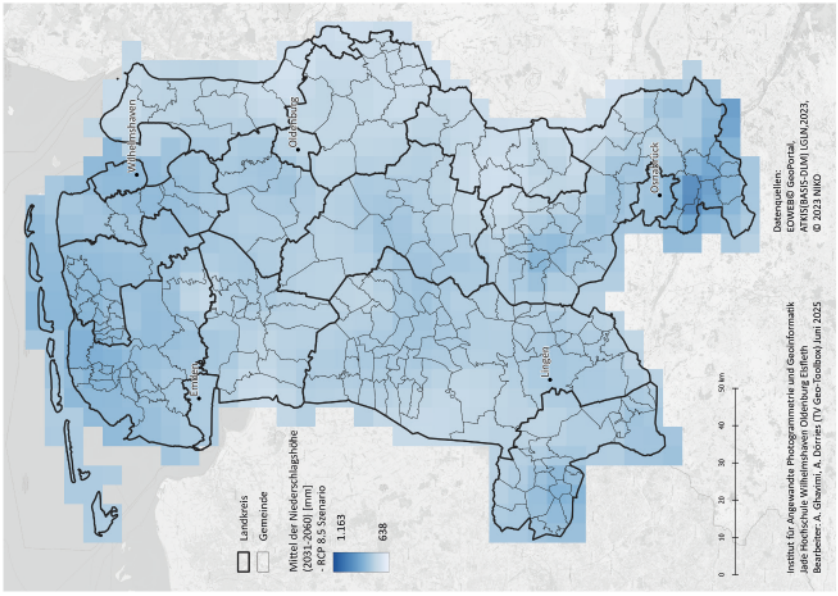
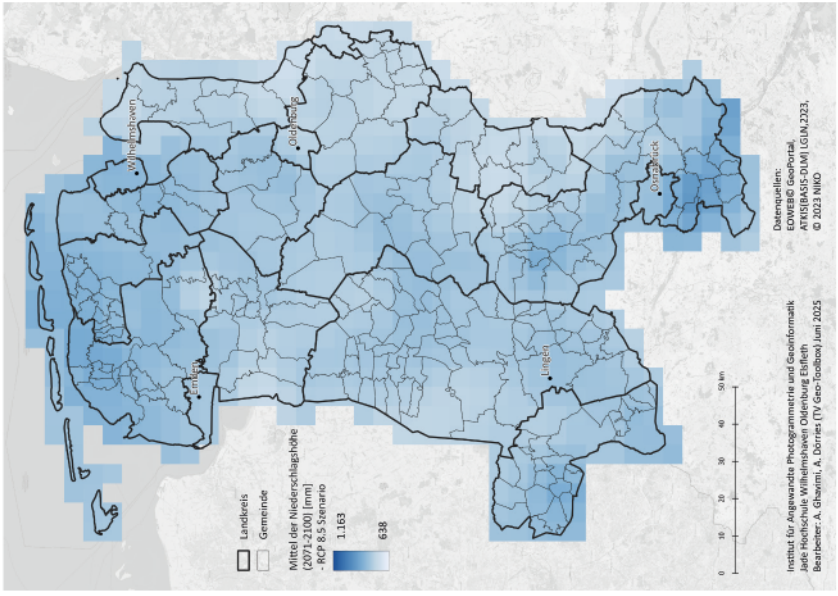


Abb 2 Mittlerer jährlicher Niederschlag im Nordwestlichen Niedersachsen:
a: 1961 – 1990 | b: 1991 – 2020 | c: 2031 – 2060 | d: 2071 – 2100


Wilhelmshaven
Oldenburg
Emden
Lingen
Osnabrück
Landkreis
Gemeinde
Mittel der Niederschlagshöhe (2031-2060) [mm] - RCP 8.5 Szenario
1.163
638
0 10 20 30 40 50 km
Datenquellen: EOWEB® GeoPortal, ATKIS(BASIS-DLM) LGLN,2023, © 2023 NIKD
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik Jade Hochschule Wilhelmshaven Oldenburg Elsfleth
Bearbeiter: A. Ghavimi, A. Dörries (TV Geo-Toolbox) Juni 2025


Wilhelmshaven
Oldenburg
Emden
Lingen
Osnabrück
Landkreis
Gemeinde
Mittel der Niederschlagshöhe (2071-2100) [mm] - RCP 8.5 Szenario
1.163
638
0 10 20 30 40 50 km
Datenquellen: EOWEB® GeoPortal, ATKIS(BASIS-DLM) LGLN,2023, © 2023 NIKD
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik Jade Hochschule Wilhelmshaven Oldenburg Elsfleth
Bearbeiter: A. Ghavimi, A. Dörries (TV Geo-Toolbox) Juni 2025

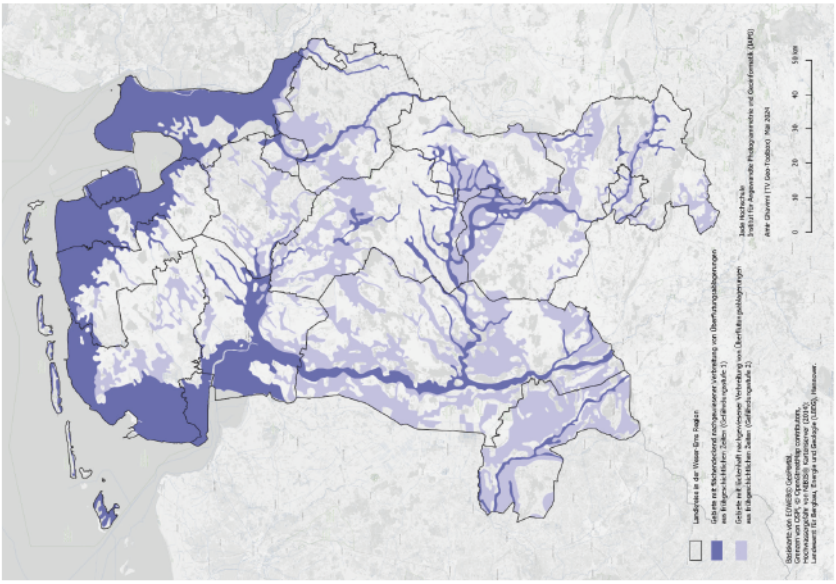


Abb 3 Potenzielle Überflutungsgefährdung im nordwestlichen Niedersachsen – indiziert durch Vorhandensein von Überflutungsablagerungen aus frühgeschichtlichen Zeiten. Die Überflutungsgefährdung resultiert aus Sturmflut-Ereignissen sowie aus Starkregen. Da große Teile des nordwestlichen Niedersachsen im küstennahen Bereich wenig oberhalb des Meeresspiegels liegen, sind Maßnahmen gegen Überflutung im Zusammenhang mit dem Klimawandel von steigender Bedeutung.

Handlungsspielräume zu verstehen. Durch das Inkrafttreten des Klimaanpassungsgesetzes und der Klimaanpassungsstrategie auf Bundesebene im Jahr 2024 wurden politische Weichen gestellt, um das Thema nicht nur auf Landes- und Bundesebene, sondern vermehrt auch auf regionaler und lokaler Ebene anzugehen. In den letzten Jahren spielt die Anpassung an die Folgen des Klimawandels auf lokaler Ebene daher eine immer größere Rolle in der Politik. In vielen Landkreisen und Gemeinden werden beispielsweise Klimaanpassungsmanager*innen eingestellt, Maßnahmen zur Klimakommunikation für verschiedene Zielgruppen entwickelt oder die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Sektoren (z.B. Küstenschutz, Tourismus, Politik, Naturschutz) gestärkt, um integrierte Lösungen zu finden, die Klimaschutz und Klimaanpassung gemeinsam denken.

Um lokale Strukturen und Herausforderungen besser zu verstehen und Lösungsmöglichkeiten ableiten zu können wurden daher im Teilvorhaben 4 mit Bezug auf Klimaanpassung folgende Fragen bearbeitet:

1. Welche gegenwärtigen und zukünftigen Auswirkungen hat der Klimawandel aus wirtschaftsgeographischer Perspektive auf die Ostfriesischen Inseln?
2. Wie werden der Klimawandel und dessen Folgen von verschiedenen Akteursgruppen auf den Ostfriesischen Inseln und relevanten Institutionen auf dem Festland wahrgenommen?
3. Wie wirkt sich die Wahrnehmung von Klimawandelfolgen auf die Planung und Umsetzung von Maßnahmen auf regionaler Ebene aus?

Eine erste qualitative Analyse ergab „eine unterschiedliche Wahrnehmung der Dringlichkeit des Themas bei verschiedenen Stakeholdern, eine teilweise Vermischung der Begriffe Klimaschutz und Klimaanpassung, eine unterschiedliche Wahrnehmung der Verantwortlichkeiten und der Zusammenarbeit mit verschiedenen Institutionen auf verschiedenen Ebenen sowie ein[en] unterschiedliche[n] Grad an Informiertheit und Sensibilisierung in Bezug auf das Thema (je nach Rolle und Hintergrund der Interviewpartner*innen)“ (Witt et al. 2024, S. 141). Ergebnisse zeigen weiterhin, dass das Thema Klimaanpassung auf Gemeindeebene oft (noch) nicht ganz oben auf der Agenda steht, sondern von anderen (oft kurzfristigeren) Themen überlagert wird, beispielsweise Fachkräftemangel oder Wohnraumfragen (Lawrenz et al. 2025). Klimaanpassung wird weitestgehend auf technischer Ebene gedacht und angegangen, zum Beispiel im Bereich Küstenschutz. Hierfür wird die Verantwortung oft auf dem Festland gesehen, z.B. bei Institutionen wie dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) oder der Landespolitik in Hannover. Tabelle 1 gibt einen exemplarischen Einblick in die Tendenzen der Wahrnehmung von Klimawandelfolgen verschiedener Akteur*innengruppen am Beispiel des Meeresspiegelanstiegs auf Borkum.

Fördernde und hindernde Aspekte für die weitere Entwicklung von Klimaanpassungsmaßnahmen

Als förderlich für Klimaanpassungsmaßnahmen wird beispielsweise eine gute Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Behörden und Bestrebungen in Richtung CO_2-Neutralität (Beispiel Borkum) angesehen. Chancen und Entwicklungsmaßnahmen können laut Regionalentwicklungskonzept Wattenmeer-Achter (REK 2023-2027) zudem in der Vermeidung von Flächenversiegelung oder der Schaffung kleinräumiger Biotope (auch durch Bewohner*innen) liegen (Brunken-Winkler et al. 2023).

Tab 1 Fördernde und hindernde Faktoren für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen sowie Tendenzen in der Wahrnehmung des Meeresspiegelanstiegs auf Borkum (Literaturrecherche und eigene qualitative Datenerhebung 2023).

Quelle	Fördernde Faktoren für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen
Interviews Borkum (eigene Erhebung, 2023)	Gute Zusammenarbeit zwischen Behörden, Bestrebungen in Richtung CO_2-Neutralität.
Brunken-Winkler et al. (2023)	Vermeidung von Flächenversiegelung oder Schaffung von kleinräumigen Biotopen.
Shao et al. (2020)	Gute Wissenschaftskommunikation, die die Relevanz von Maßnahmen hervorhebt.
Quelle	**Hindernde Faktoren für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen**
Interviews Borkum, Norderney, Spiekeroog, Wangerooge (eigene Erhebung, 2023)	Fehlende finanzielle und personelle Ressourcen, geringe Problemwahrnehmung verschiedener Akteur*innen, bürokratische Hürden.
Brunken-Winkler et al. (2023)	Fehlende Klimaanpassungskonzepte, fehlender ganzheitlicher Ansatz (viele kleinräumige Projekte).
Akteur*innengruppe	**Tendenzen in der Wahrnehmung des Meeresspiegelanstiegs**
Tourismus	Sehr unterschiedliche Wahrnehmung der Dringlichkeit, besondere Bedrohung durch Sturmfluten und Salzwassereintrag in die Süßwasserlinse, Frage nach Grenzen und Attraktivität von Küstenschutzinfrastruktur, hohes Vertrauen in technische Lösungen, Unsicherheit, die Folgen einzuschätzen in Bezug auf Intensität und Zeitfester.
Politik und Verwaltung	Thema einerseits als Ursache für Ängste und Unsicherheiten, Folgen schwer abschätzbar und in der fernen Zukunft, andere Themen kurz- und mittelfristig drängender; andererseits hohes Bewusstsein für bereits umgesetzte Küstenschutzmaßnahmen, geteilte Verantwortung von Gemeinden, Kreisen, Land & Bund.
Umwelt	Bedarf an Lösungen, die die Bedürfnisse von Natur, Tourismus und der lokalen Bevölkerung in Einklang bringen, Bewusstseinsschaffung für die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen trotz limitierter Ressourcen nötig, insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Betroffenheit der Inseln und ihrer Funktion als Barriereinseln.

Als hindernde Aspekte für die Umsetzung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels werden unter anderem fehlende finanzielle und personelle Ressourcen, eine geringe Problemwahrnehmung verschiedener Akteur*innen oder bürokratische Hürden benannt. Wissenschaftliche Studien zur Risikowahrnehmung weisen auf die Wahrnehmung von Klimawandelfolgen wie dem Meeresspiegelanstieg als sehr weit in der Zukunft liegendes Problem (psychologische Distanzierung als Bewältigungsstrategie) als möglichen Grund für nicht voll ausgeschöpfte Klimaanpassungspotenziale hin. Daher kann Wissenschaftskommunikation, die die aktuelle Relevanz hervorhebt, hier ein guter Ansatzpunkt sein (Shao et al. 2020). Das REK identifiziert zusätzlich fehlende Klimaanpassungskonzepte und einen fehlenden ganzheitlichen Ansatz (viele kleinräumige Projekte) als Schwächen im Bereich Klimaanpassung (Brunken-Winkler et al. 2023). Tabelle 2 bietet eine beispielhafte Übersicht über weitere hemmende Faktoren auf drei der Ostfriesischen Inseln.

Die Wahrnehmung von Klimarisiken als Faktor für die Umsetzung lokaler Klimaanpassungsmaßnahmen ist deutlich bedeutsamer als bisher angenommen, weshalb aktueller und zukünftiger Forschung zu der Rolle, die verschiedene Akteursgruppen und deren Risikowahrnehmung für Entscheidungen in der Klimapolitik hat, ein besonderer Stellenwert zukommt (Braunschweiger & Ingold 2023).

Lösungsmöglichkeiten und Beitrag des Teilvorhaben 4

In jüngster Vergangenheit sind in den vier Landkreisen, zu denen die Inseln gehören, Entwicklungen erkennbar, um die Bedeutung von Klimaanpassung auf lokaler Ebene zu stärken, beispielsweise durch die Einstellung von Klimaanpassungsmanager*innen, die vermehrte Bereitstellung von Klimainformationen oder die Durchführung von Bildungsveranstaltungen oder Workshops für interessierte Bürger*innen. TV 4 trägt unter anderem mit verschiedenen Diskursformaten, einem Blick über die niederländische Grenze und einem Vergleich verschiedener Anpassungsstrategien in Niedersachsen und Fryslân zu einem Austausch zu transformativen Lösungsansätzen sowie einem verstärkten Netzwerk relevanter Akteur*innen in der Region bei.

Tab 2 Mögliche hemmende Faktoren für die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen am Beispiel von Borkum, Norderney und Wangerooge (eigene qualitative Datenerhebung 2023).

	Borkum	Norderney	Wangerooge
Gesellschaft-Umwelt-Beziehungen	• Unwissen der Gäste in Bezug auf Zonierung (Ruhe-/Zwischenzone) • Nichteinhalten des Betretungsverbots der Dünen, Mangel an Informationen zu Folgen für Küstenschutz	• Teilweise fehlende Sensibilisierung für Folgen menschlichen Verhaltens auf Umwelt und Küstenschutz • Fehlende Fläche für Deicherhöhungen, Entstehung von Nutzungskonflikten durch Meeresspiegelanstieg	-
Finanzielle Aspekte	• Finanzierung von Maßnahmen	-	• Hohe Kosten für Strandaufspülungen (insbesondere, wenn vorrangig für touristische Zwecke) und Küstenschutz
Governance	• Teilweise schwierige Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Behörden (Insel - Festland)	• Erhalt der Unabhängigkeit wichtig („sich nichts vorschreiben lassen“) • Betreten der Dünen erzeugt Druck, zusätzlich zu Klimawandel, Ranger nicht berechtigt, Vergehen zu ahnden	• Klare Trennung der Behörden zwischen Maßnahmen zu touristischen und Küstenschutzzwecken (keine „ganzheitliche“ Betrachtung) • Stark fragmentierte Zuständigkeiten, z.B. zwischen Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) und NLWKN, Ziele versch. Behörden passen nicht immer zusammen • Lange bürokratische Wege (z.B. EU-weite Ausschreibung von Bauprojekten), hohe Expertise nötig (z.B. in Bezug auf Sedimentmanagement)

Quellen:

Braunschweiger, D., & Ingold, K. (2023). What drives local climate change adaptation? A qualitative comparative analysis. Environmental Science & Policy, 145, 40-49.

Brunken-Winkler, H., Nahrath, J., de Frenne, T. et al. (2023). Fortschreibung des Regionalen Entwicklungskonzeptes für die LEADER-Region Wattenmeer-Achter im Weltnaturerbe. Förderperiode 2023-2027. https://wattenmeer-achter.de/wp-content/uploads/2024/07/Fortschreibung-REK-Wattenmeer-Achter-2023-2027_202407.pdf

(BSH) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2025a). Deutsche Nordsee war in 2024 so warm wie noch nie. https://www.bsh.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/Text_html/html_2025/Pressemitteilung-2025-08-01.html [22.09.2025]

(BSH) Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2025b). Meeresoberflächentemperaturen. https://www.bsh.de/DE/DATEN/Klima-und-Meer/Meerestemperaturen/Meeresoberflaechentemperaturen/meeresoberflaechentemperaturen_node.html [22.09.2025]

Copernicus (2025). The 2024 annual climate summary. Global climate highlights 2024. https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024 [10.01.2025]

Lawrenz, C., Witt, G., Braun, B. & Bernzen, A. (2025). Unseen Urgency? Projections of extreme sea level events and stakeholder perception on the German North Sea islands of Norderney and Borkum. ERDKUNDE – Journal of Human and Physical Geographies. (Special Issue AK Geographie der Meere und Küsten). DOI: https://doi.org/10.3112/erdkunde.2025.03.05

Meinke, I. & Weisse, R. (2024). Nordseesturmfluten im Klimawandel. Perspektiven Küstenentwicklung. Institut für Küstensysteme. Helmholtz-Zentrum Hereon. https://www.hereon.de//imperia/md/assets/main/transfer/communication_media/infomaterial/nordseesturmfluten_klimawandel.pdf [10.01.2024]

(MU) Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2019). Klimawirkungsstudie Niedersachsen. https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/143866 [10.01.2025]

(NIKO) Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (2023). Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023. https://niko-klima.de/wp-content/uploads/2024/01/Klimafolgenmonitoringbericht-fuer-Niedersachsen-2023.pdf [10.01.2025]

(NLWKN) Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2022). Klimaanpassung. https://www.nlwkn.niedersachsen.de/klimawandelkompakt/klimaanpassung/klimaanpassung-182069.html [10.01.2025]

(OOWV) Oldenburgisch-ostfriesischer Wasserverband (2024). Wasserversorgung auf Spiekeroog: OOWV-Förderbrunnen wird erneuert. Pressemitteilung. https://www.oowv.de/der-oowv/presse/wasserversorgung-auf-spiekeroog-oowv-foerderbrunnen-wird-erneuert [22.09.2025]

Shao, W., Moftakhari, H., & Moradkhani, H. (2020). Comparing public perceptions of sea level rise with scientific projections across five states of the US Gulf Coast region. Climatic Change, 163, 317-335.

Von Storch, H., Meinke, I., & Claußen, M. (2017). Hamburger Klimabericht–Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland. Springer Nature.

Witt, G.; Schäfer, E.; Freimann, J.; Bernzen, A.; Schmoll, E. Born, K. M. (2024). Transformationsfelder an der Niedersächsischen Küste und auf den Ostfriesischen Inseln – spezifische Problemfelder im Kontext von Tourismus, Klimawandelanpassung und Governance. Transformation Dynamics, 1, 6.

Transformation Dynamics

GIS-gestützte Konnektivitätsanalyse historisch alter Waldstandorte im Ammerland (Niedersachsen) auf naturschutzfachlicher Grundlage und faunistischer Datenbasis

Friedrich Wenzel[1, 3], Fokko Mittelstaedt [1, 3], Fynn Scharpen [2], Hannes Foth[2], Sarah Ley[1]

(1) Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Straße 16/19, 26121 Oldenburg
(2) Jade Hochschule, Fachbereich Geoinformation, Ofener Str. 16, 26121 Oldenburg
(3) Korrespondierende Autoren: friedrich.wenzel@jade-hs.de und fokko.mittelstaedt@jade-hs.de

Abstract

Die Vernetzung von Waldstandorten bringt Vorteile für die in einem Waldgebiet vorkommende Flora und Fauna und ist ein Beitrag zu den Nachhaltigkeitszielen. Vor allem gefährdete Tierarten, die in historisch alten Wäldern leben, profitieren von der Erweiterung ihres Lebensraumes durch einen Verbund. Die Schaffung von Verbundflächen ist jedoch mit Kosten und Risiken verbunden. Nicht alle Verbundflächen können genutzt werden (Eigentumsrechte) und nicht immer ist der kürzeste Weg zwischen den Wäldern auch der für die verschiedenen Tierarten günstigste. GIS-gestützte Konnektivitätsanalysen können hier eine Entscheidungshilfe bieten. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Systematik entwickelt, die potenzielle Verbundflächen und -wege für die an historisch alte Waldstandorte gebundenen Tierarten Mittelspecht (Leiopicus medius), Großes Mausohr (Myotis myotis), Baummarder (Martes martes) und Glatter Laufkäfer (Carabus glabratus) im Ammerland (Niedersachsen) analysiert. Mit Hilfe von Least-Cost Maps und Least-Cost Paths wurde die Eignung der Verbindungswege für die Tiere bewertet. Die Cost-Maps wurden nach faunistischen Überlegungen standardisiert und auf Rasterebene berechnet. Die Ermittlung der Least-Cost Paths erfolgte über die Distanzwerte in Verbindung mit netzwerkbasierten GIS-Operationen. Die vorgestellte Systematik ist auf andere Gebiete übertragbar und kann auch zur Analyse von Veränderungen in bestehenden isolierten Waldflächen eingesetzt werden.

Schlüsselworte:

Biotopverbund, Geoinformationssystem (GIS), Konnektivitätsanalyse, Least-Cost Modellierung, Mittelspecht, *Leiopicus medius*, Baummarder, *Martes martes*, Glatter Laufkäfer, *Carabus glabratus*, Großes Mausohr, *Myotis myotis*.

Zitation:

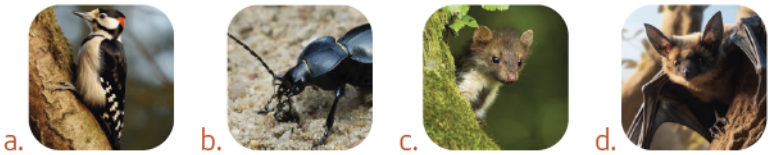
Wenzel, F., Mittelstaedt, F., Scharpen, F., Foth, H., Ley, S. GIS-gestützte Konnektivitätsanalyse historischer alter Waldstandorte im Ammerland (Niedersachsen) auf naturschutzfachlicher Grundlage und faunistischer Datenbasis. Transformation Dynamics 2025, 2, 2. (S. 31 - 65) DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einführung und Motivation

Die biologische Vielfalt zu erhöhen und damit einen Beitrag zur Resilienz des Landschaftshaushalts zu leisten, ist eines der Ziele, das in der Transformationsforschung thematisiert wird. Die etablierten Formen der Landnutzung haben in den zurückliegenden Jahren einem fortschreitenden Biodiversitätsrückgang begünstigt. Eine Trendumkehr ist aus ökologischer Sicht wünschenswert und dringend. In den *Sustainable Development Goals* (SDG) wird als Ziel einer nachhaltigen Entwicklung im Rahmen von Transformationsprozessen eine Förderung der biologischen Vielfalt angestrebt (Goal 14, 15; UN 2015).

Historisch alte Wälder, die seit mindestens 100 Jahren bestehen, leisten einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität (Wulf 2004), denn insbesondere Arten mit eng spezialisierten Habitatansprüchen oder relativ geringem Ausbreitungsvermögen sind an die jeweiligen Standorte gebunden und auf diese begrenzt. Um die Vielfalt der an diese Wälder angepassten Arten zu erhalten und zu erhöhen, ist es wichtig, ihren Lebensraum zu schützen. Neben der Gesamtfläche des Lebensraumes ist auch die Konnektivität der einzelnen Teilflächen für die Biodiversität relevant, da diese das Ausbreitungsverhalten von Flora und Fauna beeinflusst (Assmann et al. 2013). Dabei ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Tierarten unterschiedliche Anforderungen an die Verbindung dieser Wälder stellen (z. B. in Bezug auf Flugfähigkeit, Schwimmfähigkeit und Aktivitätstyp). Es soll hier anhand von vier repräsentativen Tierarten untersucht werden, inwieweit historisch alte Waldstandorte im Ammerland (Niedersachsen) als vernetzt angesehen werden können. Der Biotopverbund Ammerland besteht zu 3,83 % aus historischen Waldflächen, in denen u. a. der Mittelspecht (*Leiopicus medius*), der Glatte Laufkäfer (*Carabus glabratus*), der Baummarder (*Martes martes*) und das Große Mausohr (*Myotis myotis*), eine Fledermaus-Art, leben (Bachmann, Pasinelli 2002, Assmann et al. 2013, Zalewski et al. 2004, Zahn 1999). Diese vier Tierarten (Abb. 1) repräsentieren ein breites Spektrum an ökologischen Nischen und unterschiedlichen Anforderungen an die Verbindungen zwischen den Waldflächen. Es soll eine Informationsgrundlage geschaffen werden, die eine Bewertung von Renaturierungsmaßnahmen ermöglicht, die die Konnektivität dieser Gebiete erhöhen.

Auf Basis der Literatur wurden artspezifische Präferenzen ermittelt und das Digitale Landschaftsmodell für das Ammerland (Basis-DLM) unter besonderer Berücksichtigung historischer Waldbestände entsprechend aufbereitet. In einem folgenden Schritt wurden die Präferenzen in Least-Cost Maps abgebildet, sodass für jede Tierart geeignete Lebensräume identifiziert wer-



a. Mittelspecht (*Leiopicus medius*) | b. Glatter Laufkäfer (*Carabus glabratus*) | c. Baummarder (*Martes martes*) | d. Großes Mausohr (*Myotis myotis*), eine Fledermaus-Art (Symbolbild)

Abb 1 Die vier Zielarten dieser Arbeit.

den konnten. Anschließend wurde mit einer Least-Cost Paths Analyse untersucht, wie diese Lebensräume möglichst günstig miteinander verbunden werden können. Die Ergebnisse wurden mit Informationen zu ehemaligen historischen Waldstandorten verglichen, die einmal zu den verfügbaren Lebensräumen dieser Arten gehört haben. Über die konkreten Ergebnisse hinaus ist der Quellcode auf GitHub öffentlich zugänglich (https://github.com/Fried666/Masterprojekt-Pesch-2023), um die Durchführung ähnlicher Konnektivitätsanalysen für zukünftige Anwendungsfälle zu erleichtern.

Methodischer Hintergrund

Die Vernetzung von Lebensräumen besteht aus struktureller Konnektivität, der Anordnung von Landschaftselementen und funktionaler Konnektivität, den ökologischen Prozessen in der Landschaft (Taylor et al. 1993, Singleton, McRae 2013). Strukturelle Konnektivität bezieht sich auf die physische Anordnung und Verteilung von geeigneten Landschaftselementen innerhalb eines geographischen Gebiets. Sie beschreibt, wie diese Elemente räumlich miteinander verbunden oder voneinander getrennt sind. Diese Form der Konnektivität bezieht sich auf die sichtbare und messbare Geometrie der Landschaft, die beeinflussen kann, wie Organismen sich bewegen, interagieren und ihre Lebensräume nutzen können (Weyer 2014). Diese kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Beispielsweise die Entfernung zwischen den Lebensräumen, die Verteilung von Hindernissen zwischen den Habitaten, die Größe und Form von Habitatflecken sowie die Art der Verbindungspfade zwischen ihnen. Je nachdem, wie diese Elemente angeordnet sind, können sie die Mobilität und damit das Ausbreitungsvermögen von Arten beeinflussen. Dies wirkt wiederum auf die genetische Vielfalt, die Persistenz von Arten und auf die Diversität in den Ökosystemen.

In der Landschaftsökologie und im Naturschutz ist das Verständnis der strukturellen Konnektivität wichtig für die Planung der Erhaltung und Wiederherstellung von Populationen und Ökosystemen. Ein gut vernetztes System von Habitaten kann den Austausch von Individuen und genetischem Material ermöglichen, was die Anpassungs- und Überlebensfähigkeit von Arten verbessern kann. Die Analyse der strukturellen Konnektivität zielt daher darauf ab, Muster in der Landschaft zu identifizieren, die die Erhaltung der biologischen Vielfalt fördern (Tischendorf, Fahrig 2000).

Funktionale Konnektivität bezieht sich auf die Art und Weise, wie ökologische Prozesse und biologische Interaktionen in einer Landschaft durch die räumliche Anordnung von Lebensräumen und anderen Umweltmerkmalen beeinflusst werden. Im Gegensatz zur strukturellen Konnektivität, die sich auf die physische Verteilung von Habitaten konzentriert, befasst sich die funktionale Konnektivität mit den dynamischen Aspekten der Wechselwirkungen zwischen Organismen und ihrer Umgebung (Weyer 2014). Diese Konnektivität konzentriert sich darauf, wie gut verschiedene Lebensräume oder Gebiete in einer Landschaft miteinander verknüpft sind, um die Bewegung von Organismen, die Verbreitung von Pollen oder Samen, den Fluss von Nährstoffen oder auch die Ausbreitung von Krankheiten zu erleichtern oder zu behindern (Taylor et al. 1993). Die Analyse der funktionalen Konnektivität kann komplex sein, da sie nicht nur die räumliche Anordnung der Lebensräume berücksichtigt, sondern auch die biologischen Eigenschaften der Organismen und die ökologischen Prozesse, die in der Landschaft stattfinden. Insgesamt ist das Verständnis der funktionalen Konnektivität von großer Bedeutung für die Erhaltung und das Management von Ökosystemen. Eine optimale funktionale Konnektivität kann die Stabilität von Ökosystemen erhöhen und die Anpassungsfähigkeit von Arten an sich verändernde Umweltbedingungen unterstützen (Tischendorf, Fahrig 2000). Die Kostenentfernungsanalyse ist eine häufig angewandte räumliche Analysetechnik zur Bewertung der Landschaftskonnektivität im Rahmen der Naturschutzplanung. Die Kosten bezeichnen dabei den energetischen Aufwand oder das Mortalitätsrisiko, das mit der Bewegung durch die Landschaft verbunden ist. Die Analyse beginnt mit der Erstellung einer Widerstands-Raster-Ebene, wobei jeder Rasterzelle ein Widerstandsindex oder Kostenwert zugewiesen wird, der normalerweise durch die Habitatmerkmale in dieser Zelle bestimmt wird. Der Kostenentfernungsalgorithmus berechnet dann für jede Zelle in der Ausgabe-Kostenentfernungsoberfläche die Summe des Widerstandsindex multipliziert mit der Zellgröße für jede Zelle auf dem günstigsten Weg zur nächstgelegenen Quelle. Das Ergebnis ist eine Karte

des kumulierten Widerstands zwischen jeder Zelle auf der Karte und der am besten erreichbaren Quelle. Dies bildet die Grundlage für zwei nützliche Kartenergebnisse:

1. Die günstigsten Pfade zwischen zwei Quellen, die den Weg mit dem geringsten kumulierten Widerstand zwischen den Quellen identifizieren.
2. Die günstigsten Korridore, welche diejenigen Zellen repräsentieren, in denen die kumulative Kostenentfernung zwischen zwei Quellen unter einen oder mehrere benutzerdefinierte Schwellenwerte fällt (ESRI 2023).

Die Analyse liefert relative Indizes zur Durchlässigkeit der Landschaft, wobei die gewichtete Distanzfläche die informativste ist (Röhner 2019). Die günstigsten Pfade allein sind nicht sehr aussagekräftig, da sie nur eine Zelle breit sind und keine Informationen über die Durchlässigkeit der restlichen Landschaft liefern. Die günstigsten Entfernungsindizes können jedoch nützlich sein, um die Verbundenheit zwischen zwei Quellen zu beurteilen (Singleton, McRae 2013).

Datengrundlage und -aufbereitung

Untersuchungsgebiet

Die vorliegende Konnektivitätsanalyse historisch alter Waldstandorte wurde für den Landkreis Ammerland durchgeführt. Der Landkreis Ammerland liegt im nordwestlichen Küstengebiet Niedersachsens und umfasst eine Fläche von 730,63 km². Er erstreckt sich von der Stadt Oldenburg im Osten bis zur Leda-Jümme-Marsch im Westen und von der Friesischen Wehde im Norden bis zum Küstenkanal im Süden. Die Landschaft ist vor allem im Osten und Süden durch ausgedehnte Moore geprägt. Die Geestgebiete zeichnen sich durch kleinere Waldflächen, Felder und Wallhecken aus. Im Ammerland gibt es 19 Naturschutzgebiete und 39 Landschaftsschutzgebiete, deren Anteil an der Gesamtfläche des Landkreises Ammerland 9,3 % beträgt (Landkreis Ammerland 2021).

Der Landschaftsrahmenplan des Landkreises Ammerland wurde entsprechend dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und dem Niedersächsischen Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz (NAGB-NatSchG) erstellt. Bestandteil der Landschaftsplanung ist die Schaffung eines Biotopverbundes, der die Populationen wild lebender Tiere und Pflanzen sichern und funktionsfähige ökologische Wechselbeziehungen

erhalten soll bzw. wiederherstellt und entwickelt (§ 21 BNatSchG Biotopverbund, Biotopvernetzung). Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) verfolgt das Konzept eines länderübergreifenden Biotopverbundes, der unter anderem der besseren Vernetzung des europäischen Schutzgebietsnetzwerkes Natura 2000 dient. Dieses Konzept stellt eine wichtige Grundlage dar, um den Biotopverbund im Landkreis Ammerland an die lokalen Gegebenheiten und ökologischen Bedingungen im Ammerland anzupassen (Landkreis Ammerland 2021).

Bedeutsame Biotopverbundflächen sind unter anderem Waldlebensraumkomplexe. Mit 11 % liegt der Waldanteil deutlich unter dem Landesdurchschnitt von 21 %. Aus naturschutzfachlicher Sicht ist es das Ziel, naturnahe Wälder zu entwickeln und den Waldanteil zu erhöhen. Die Fläche der historisch alten Wälder beträgt 2.809 ha. Sie haben eine besondere Bedeutung für den Tier- und Pflanzenartenschutz, da hier besonders schützenswerte Arten vorkommen, die nur an Waldstandorten zu finden sind, die über sehr lange Zeit ungestört bestehen. Die Entwicklung naturnaher Wälder ist vor allem im Bereich möglicher Verbindungen zwischen einzelnen Waldbeständen anzustreben (Landkreis Ammerland 2021).

Daten

Die Datengrundlage für die Konnektivitätsanalyse bilden die vom Landkreis Ammerland zur Verfügung gestellten Geodaten der bis heute erhaltenen historisch alten Waldstandorte sowie die Oldenburgischen Vogteikarten von 1790. Zusätzliche Daten wurden einem Digitalen Landschaftsmodell (DLM) entnommen. Auf dieser Basis wurden Kostenwerte für die topographischen Objekte zwischen den historisch alten Waldstandorten ermittelt. Die Vogteikarten und das digitale Landschaftsmodell stammen vom Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN).

Die Vogteikarten im Maßstab 1:20.000 enthalten historische Informationen zu Gebäuden, Verkehrswegen, Gewässern und Vegetation im Ammerland aus dem Jahr 1790 (Nistal 2000). Für einen Vergleich mit den heutigen Waldstandorten, die als Shapefile vorliegen, wurden die damaligen Waldflächen aus den Vogteikarten extrahiert und als Shapefile gespeichert (Abb. 2). Für die Digitalisierung der Waldflächen aus den Vogteikarten wurde ein Python-Skript entwickelt. Das Skript ermöglicht die Erstellung eines Mosaiks aus mehreren Vogteikarten und die Markierung der Waldflächen anhand der Farbcodierung in den Karten. Das Mosaik wird auf den Farbcode der Rasterzellen der Waldflächen gefiltert, die dann aus dem vorhandenen Rasterformat vektorisiert werden. Dieses

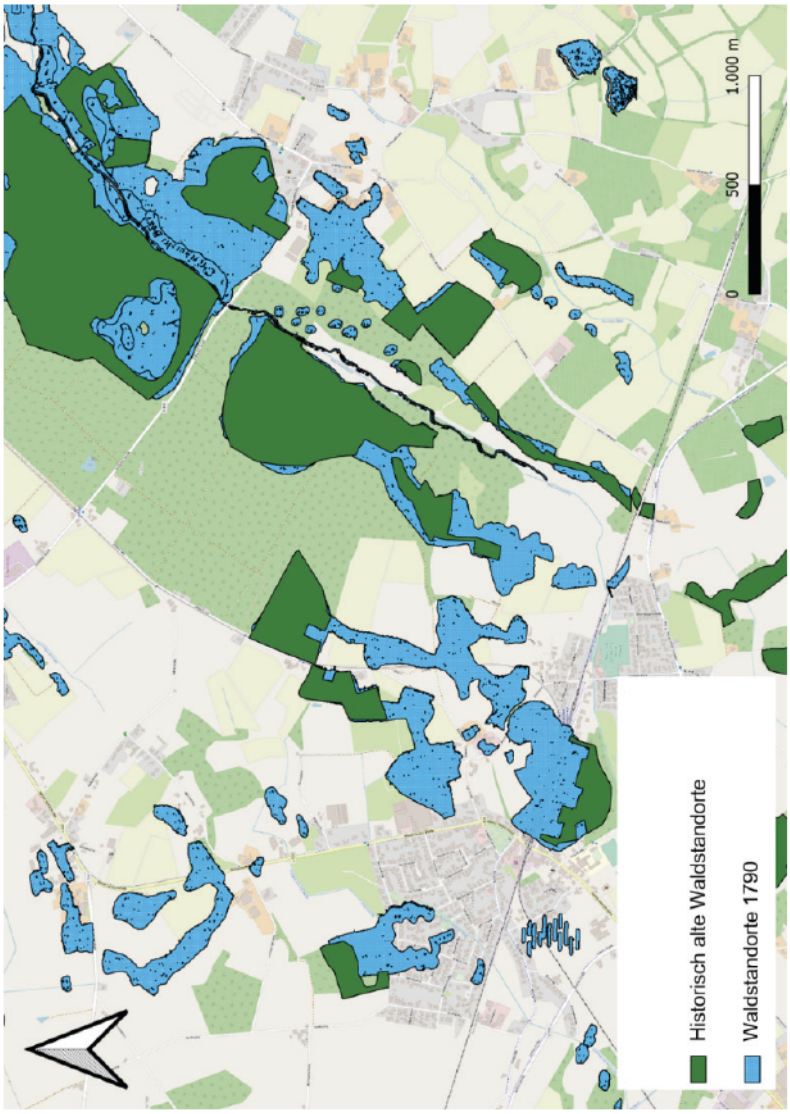


Abb 2 Vergleich historisch alter Waldstandorte und Waldstandorte von 1790 (Ausschnitt: Westerstede)

Verfahren ermöglicht eine genaue und effiziente digitale Rekonstruktion der Waldflächen aus den Vogteikarten. Als digitales Landschaftsmodell (DLM) wird das Basis-DLM des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen verwendet (LGLN 2022b). Das Basis-DLM beschreibt die Erdoberfläche im Vektorformat. Das Basis-DLM zeichnet sich durch eine hohe geometrische Genauigkeit aus und bietet mit einer Anzahl von 130 Objektarten eine umfassende Beschreibung topographischer Objekte. Es liegt im Referenzsystem ETRS89/UTM 32N vor und wird alle drei Jahre anhand von digitalen Orthophotos aktualisiert (LGLN 2022a).

Methodik

Im Rahmen eines Biotopverbundes zur Förderung der Vernetzung und Sicherung von Lebensräumen für verschiedene Tier- und Pflanzenarten ist aufgrund der hohen Artenvielfalt in Wäldern häufig eine Auswahl der näher zu betrachtenden Arten erforderlich (§ 21 Abs. 1 Satz 1-2 BNatSchG). Diese Selektion erfolgt in der Regel anhand des spezifischen Untersuchungsgebietes und der dort vorkommenden Arten, insbesondere solcher, die von einem Biotopverbund profitieren oder die besonders bedroht sind (Jedicke 2008). Für diese spezielle Untersuchung wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit eine gezielte Auswahl getroffen. Mit dem Mittelspecht (*Leiopicus medius*), der Fledermaus-Art Großes Mausohr (*Myotis myotis*), dem Baummarder (*Martes martes*) und dem Glatten Laufkäfer (*Carabus glabratus*) wurden vier Tierarten identifiziert, die für Schutzzwecke im Ammerland besonders interessant sind. Diese Arten wurden ausgewählt, da sie besonders von einem Biotopverbund historisch alter Waldstandorte profitieren. Außerdem wurde darauf geachtet, ein breites Artenspektrum abzudecken. Es wurden zwei fliegende Arten (*Leiopicus medius* und *Myotis myotis*) und zwei am Boden lebende Arten (*Martes martes* und *Carabus glabratus*) ausgewählt. *Leiopicus medius* und *Myotis myotis* unterscheiden sich zusätzlich zwischen Vögeln und Säugetieren, *Martes martes* und *Carabus glabratus* zwischen Säugetieren und Insekten.

Neben der Auswahl der relevanten Tierarten ist es wichtig, deren Habitatpräferenzen und Ausbreitungsverhalten zu analysieren. Aus dieser Analyse lässt sich ableiten, wo sich die Tiere bevorzugt aufhalten (potenziell gute Konnektivität) und wo nicht (schlechte Konnektivität). Hierfür wurden standardisierte Kostenwerte ermittelt. Die Daten wurden literaturbasiert erarbeitet (siehe Anhang 1) und in der Zusammenarbeit mit dem Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) diskutiert und weiter spezifiziert (Tab. 1).

	Großes Mausohr		Mittelspecht		Baummarder		Glatter Laufkäfer	
	Kostenwert	Puffer	Kostenwert	Puffer	Kostenwert	Puffer	Kostenwert	Puffer
Verkehr								
Autobahn	90	50 m	90		95		100	
Bundesstraße	85		85		90		100	
Landstraße	80		80		85		100	
Kreisstraße	75		75		80		100	
Gemeindestraße	70		70		75		100	
Wege	30		30		65		75	
Lärmschutzwände	60		60		100		100	
Bahnverkehr	85		85		85		70	
Vegetation								
Laubwald	0		0		0		0	
Nadelwald	20		70		30		40	
Mischwald	10		30		15		5	
Ackerland	75		80		100		80	
Grünland	75		80		100		70	
Streuobstwiese	10		80		50		70	
Gartenbauland	20		80		100		70	
Baumschule	30		80		85		70	
Obstplantage	30		80		85		70	
Gehölz	30		80		50		70	
Moor	30		80		50		25	
Unland	70		80		100		25	
Wallhecken	20		80		0		25	
Alte Waldstandorte	0		0		0		0	

Tab 1 Kostenwerttabelle der untersuchten Tierarten auf Basis der Objekte des Basis-DLM (Ausschnitt)

Die Kostenwerte reichen von Null (keine Kosten) bis 100 (maximale Kosten). Neben den Kostenwerten wurden zusätzlich Pufferdistanzen ermittelt. Ein Puffer bedeutet, dass bestimmte Infrastruktureinrichtungen, wie z.B. eine Autobahn, nicht nur direkte Auswirkungen haben, sondern auch in einem Umkreis (z. B. 50 m um eine Autobahn im Falle des Großen Mausohrs) Auswirkungen auf Ausbreitungsprozesse haben.

Die Zuordnung der Flächen erfolgte rasterbasiert. Bei der Erstellung des Referenzrasters mussten die Vor- und Nachteile verschiedener Auflösungen abgewogen werden, um einerseits genaue Ergebnisse zu erzielen, andererseits aber die Rechenkapazität der verfügbaren Hardware nicht zu überschreiten. In der wissenschaftlichen Literatur sind Auflösungen im Bereich von 20 bis 30 m üblich (Gurrutxaga et al. 2010). Das Hauptproblem bestand jedoch darin, dass sich die Kostenlayer in einigen Bereichen überlappten, was die herkömmliche Methode der gewichteten Durchschnittsbildung unmöglich machte. Als Alternative wurde ein Top-Down-Ansatz verwendet, bei dem verschiedene Auflösungen ausprobiert und ihre Auswirkungen auf die Genauigkeit und die Rechenleistung beobachtet wurden. Eine höhere Auflösung führt zu einer geringeren Überlagerung und einer minimal geringeren Abdeckung. Da Layerüberlagerungen vor allem dort auftreten, wo keine historisch alten Waldstandorte vorhanden sind und somit kaum einen Einfluss haben, wurde die höchstmögliche Auflösung von 5 m gewählt (Abb. 3). Zur Erstellung der Least-Cost Maps wurden die Daten zu den artspezifischen Präferenzen gesammelt und in ein einheitliches Rasterformat konvertiert.

Die Rasterung von Vektordaten erfolgt in vier Schritten:

1. Selektion der relevanten Objekte: Zunächst müssen die relevanten Objektarten aus dem Shapefile ausgewählt werden. Hierfür müssen die Daten entsprechend der Selektion gefiltert werden.
2. Anwenden eines Buffers (optional).
3. Anpassung an das Untersuchungsgebiet: Nach der Auswahl der relevanten Objekte müssen diese an das Untersuchungsgebiet zugeschnitten werden. Dies kann durch einen räumlichen Schnitt (Clip) mit dem Untersuchungsgebiet erfolgen, um sicherzustellen, dass nur Daten innerhalb des definierten Gebietes erhalten bleiben.

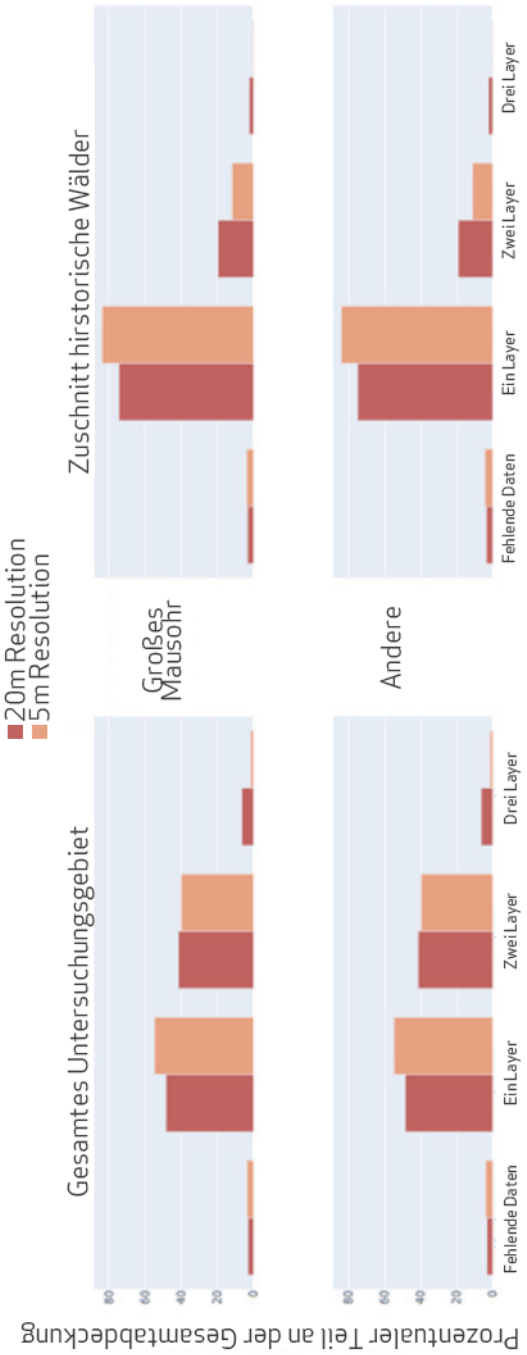


Abb 3 Layer-Überlagerungen im Untersuchungsgebiet

4. Rasterisierung: Der letzte Schritt ist die eigentliche Rasterisierung (Rasterung) der ausgewählten und zugeschnittenen Daten. Das bedeutet, dass die Geometrie der Objekte in Rasterzellen umgewandelt wird. Je nach Anwendung können verschiedene Rasterisierungsmethoden verwendet werden, z. B. die Zuweisung von Werten basierend auf Attributen der Objekte oder die Konvertierung von Vektordaten in Rasterpixel.

Anschließend wurde für jede Habitatpräferenz ein eigener Layer erstellt, in dem entweder eine 1 für das Vorhandensein des Habitats oder eine 0 für das Fehlen des Habitats in einem bestimmten Gebiet eingetragen wurde. Falls eine Habitatpräferenz aus mehreren Objekten vorlag, wurden diese zusammengeführt. In diesem Fall wurde eine 1 in den Layer geschrieben, sobald mindestens eines der Objekte eine 1 aufwies. Daraufhin wurde die Least-Cost Map erstellt, indem jeder Layer mit seinem jeweiligen Kostenwert, der aus der Habitatpräferenztabelle stammt (Tabelle 1), multipliziert und die Ergebnisse anschließend addiert wurden: Der daraus resultierende Layer wurde durch die Anzahl der Überlappungen in der jeweiligen Zelle geteilt, um die Kosten aufzuschlüsseln.

Da die Least-Cost Map nur Informationen darüber liefert, wo sich die Tiere wohlfühlen bzw. wo sie sich bedroht fühlen, wurden im nächsten Schritt Kostenpfade zwischen den historisch alten Waldstandorten ermittelt. Dabei handelt es sich nicht um die räumlich kürzesten, sondern um die kostengünstigsten Pfade entsprechend der Präferenzen der betrachteten Tierarten. Zur Anwendung kam das ArcGIS Pro Tool „Creating the least-cost path“, das insbesondere in der Landschaftsanalyse und Ökologie eingesetzt wird. Hierbei werden zwischen zwei Punkten in einer geographischen Umgebung die kostengünstigsten Pfade in Bezug auf die Kostenwerte des definierten Kostenrasters berechnet (ESRI 2023). Nach der Berechnung der Pfade wurden die Pfade mit der maximalen Länge entsprechend dem Aktionsradius der Tierarten ausgewählt.

Ergebnisse

Die Visualisierung der Habitatpräferenzen der einzelnen Gattungen in Kostenrastern zeigt, dass für die untersuchten Arten nur sehr wenige und relativ fragmentierte Flächen des Ammerlandes als Habitat in Frage kommen (Abb. 4). Am günstigsten ist die Least-Cost Map für den Glatten Laufkäfer, der ein

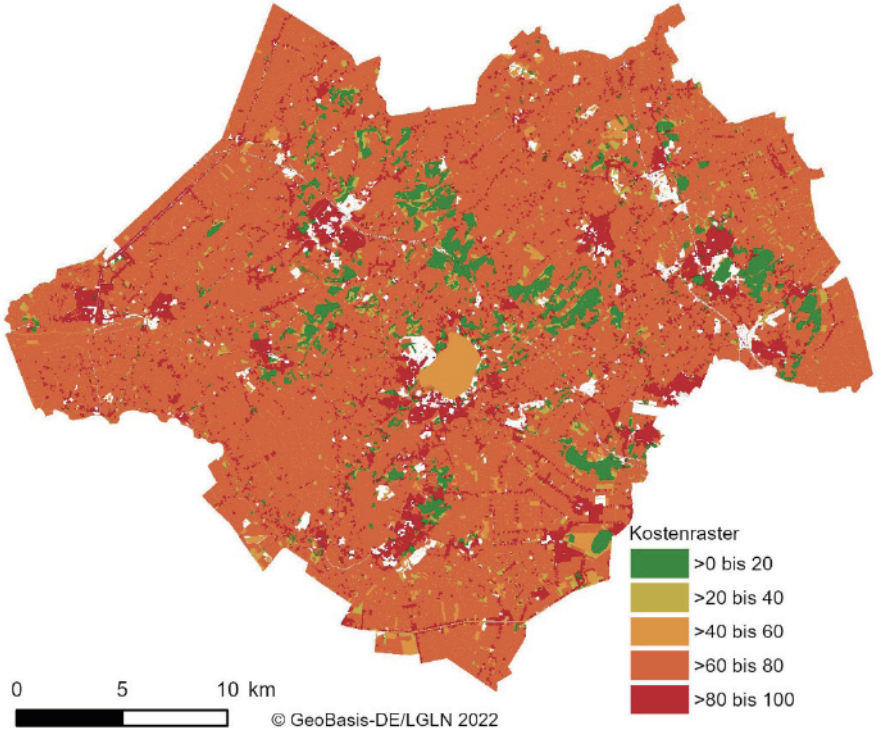
breites Spektrum an Habitatpräferenzen aufweist. Er meidet lediglich Gewässer und stark von Verkehr frequentierte Gebiete. Besonders wohl fühlt er sich in Wäldern, Mooren und Wallhecken. Betrachtet man die Kostenwerte des Mittelspechts, so fällt auf, dass diese im Vergleich zum Laufkäfer höher ausfallen, was darauf zurückzuführen ist, dass der Mittelspecht Verkehr, größere Gewässer und offene Flächen meidet und sich nur in Laub- und Mischwäldern wohl fühlt. Schlechter sind die Habitatpräferenzen des Baummarders, der besonders hohe Ansprüche an seinen Lebensraum stellt. Er lebt versteckt und meidet alles, was nicht Wald oder Gehölz ist.

Das Säulendiagramm in Abbildung 4 zeigt, dass das Ammerland für den Baummarder fast ausschließlich Kostenwerte zwischen 60 und 100 aufweist. Auch das Große Mausohr hat wie der Laufkäfer eher niedrige Kostenwerte und scheint sich im Ammerland wohlzufühlen. Sowohl Wälder als auch Plantagen, Baumschulen, Heiden, Moore, Wallhecken und Wege kommen partiell als Habitat für die fliegenden Säugetiere in Frage, soweit in der Nähe geeignete Ruheplätze verfügbar sind bzw. ihre weiteren Habitatansprüche erfüllt sind. Trotz der unterschiedlichen Lebensweise der vier Arten überschneiden sich Laufkäfer, Specht, Marder und Fledermaus in ihren Habitatpräferenzen: sie halten grundsätzlich Distanz zu Gewässern und Verkehrsflächen und präferieren Wälder und Schutzgebiete. Mit der Least-Cost Paths Analyse wurden die kostengünstigsten Pfade zwischen den historisch alten Waldstandorten ermittelt. Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus dem Ergebnis für den Baummarder (*Martes martes)*, in dem die historisch alten Waldstandorte durch Pfade verbunden sind. Die Pfade wurden auf der Grundlage des Kostenrasters gebildet und stellen nicht die kürzeste Verbindung zwischen zwei Waldstandorten dar, sondern den Weg mit den geringsten Kosten. Die Pfade enthalten maximal die Länge des Aktionsradius des Baummarders.

Abbildung 6 zeigt den gleichen Ausschnitt des Ergebnisses der Least-Cost Paths Analyse für den Baummarder (*Martes martes*) wie in Abbildung 5, mit dem Unterschied, dass die Pfade nur auf den Flächen der Waldstandorte von 1790 verlaufen (schraffierte Flächen). Es ist ersichtlich, dass einige Pfade gleichgeblieben sind und andere sich verlängert haben, da sie an die Flächen der Waldstandorte von 1790 gebunden sind. Einige Pfade waren deshalb nicht realisierbar. Abbildung 7 zeigt Pfadverläufe für einen größeren Kartenausschnitt. Im Anhang 2 sind Übersichten für das Ammerland insgesamt für die vier Zielarten zusammengestellt.

Die ermittelten Pfade zeigen, dass die Wahl der Renaturierungsmaßnahmen sowie deren Lage von verschiedenen Variablen abhängen. Für die ausgewählten Tierarten sind Renaturierungsinseln entlang der kürzesten





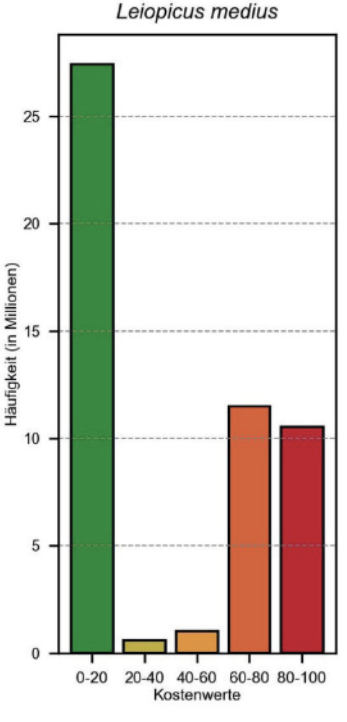


Abb 4a Least-Cost Maps und Kostenverteilung der untersuchten Tierarten für das Ammerland. Mittelspecht (Leiopicus medius).



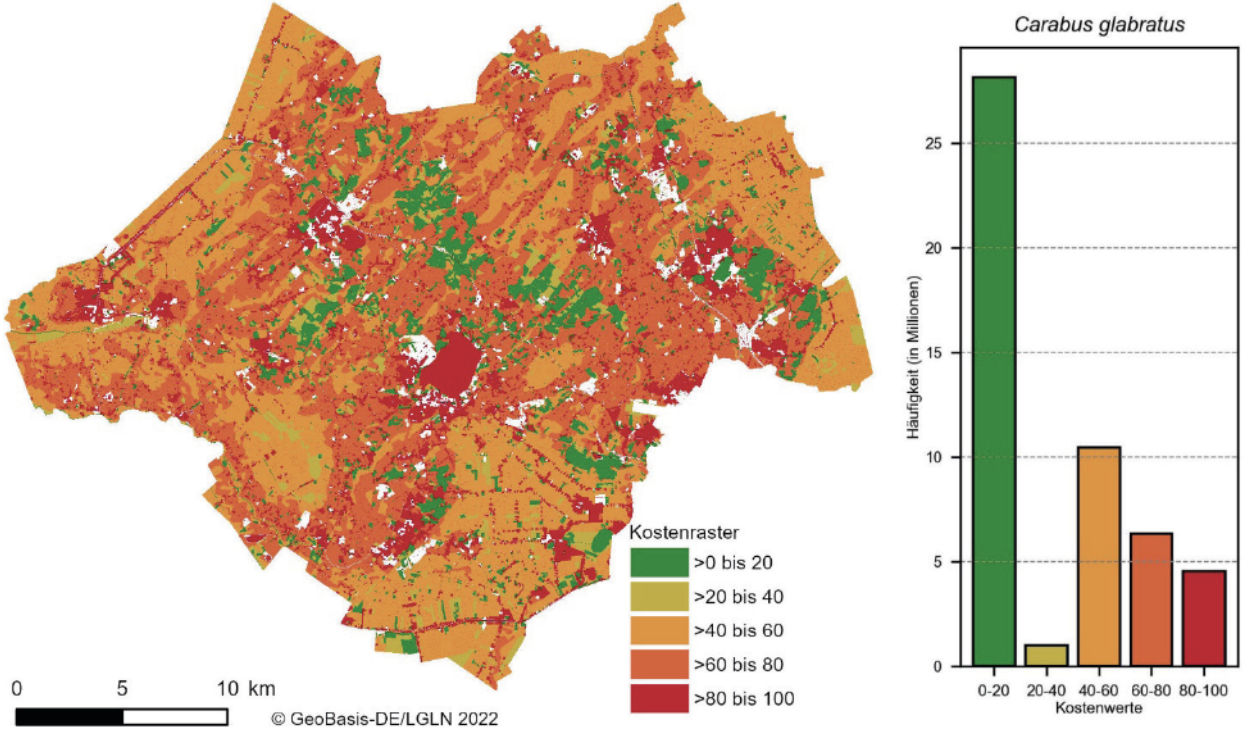
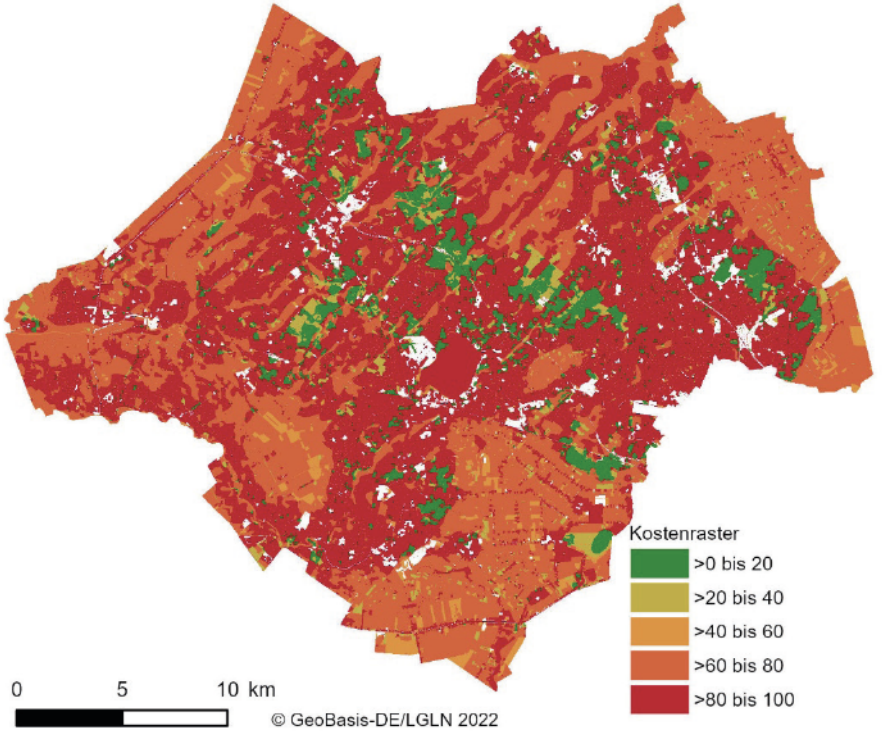


Abb 4b Least-Cost Maps und Kostenverteilung der untersuchten Tierarten für das Ammerland.

Glatter Laufkäfer (*Carabus glabratus*)





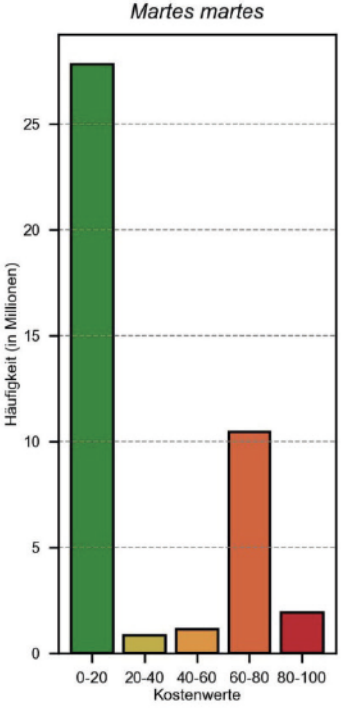


Abb 4c Least-Cost Maps und Kostenverteilung der untersuchten Tierarten für das Ammerland. Baummarder (*Martes martes*)



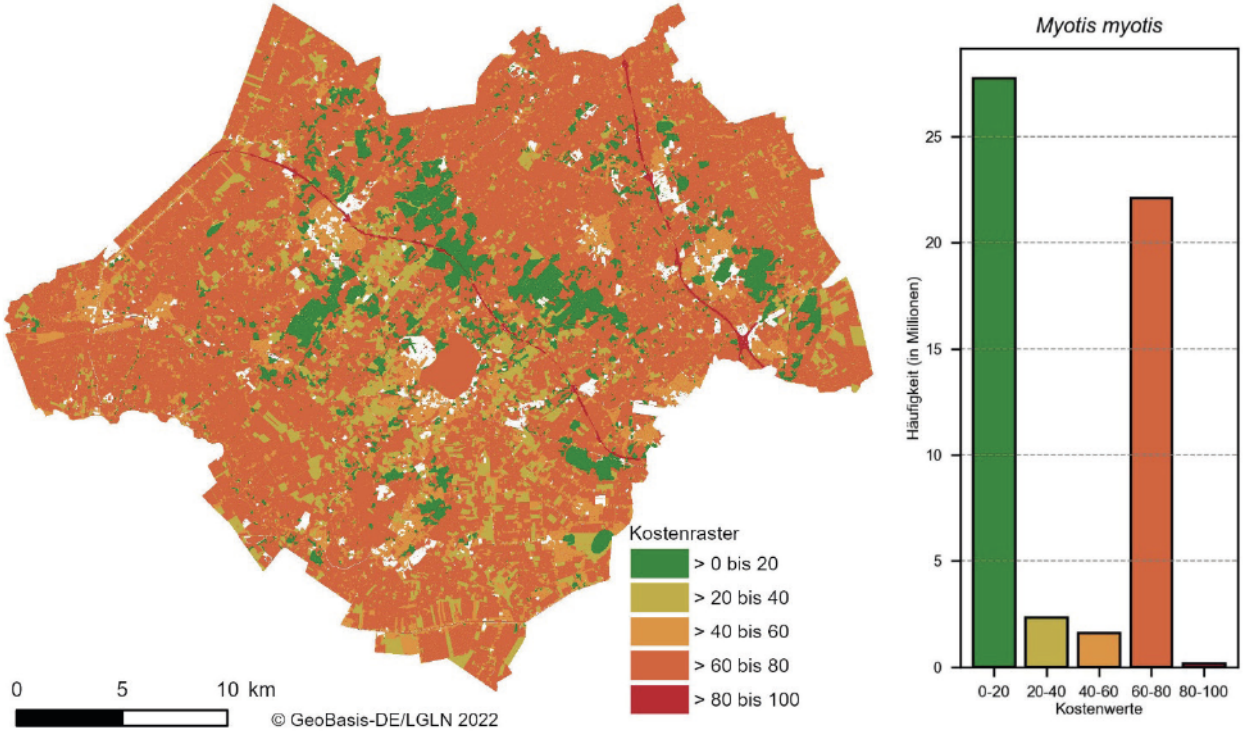


Abb 4d Least-Cost Maps und Kostenverteilung der untersuchten Tierarten für das Ammerland. Großes Mausohr (Myotis myotis)

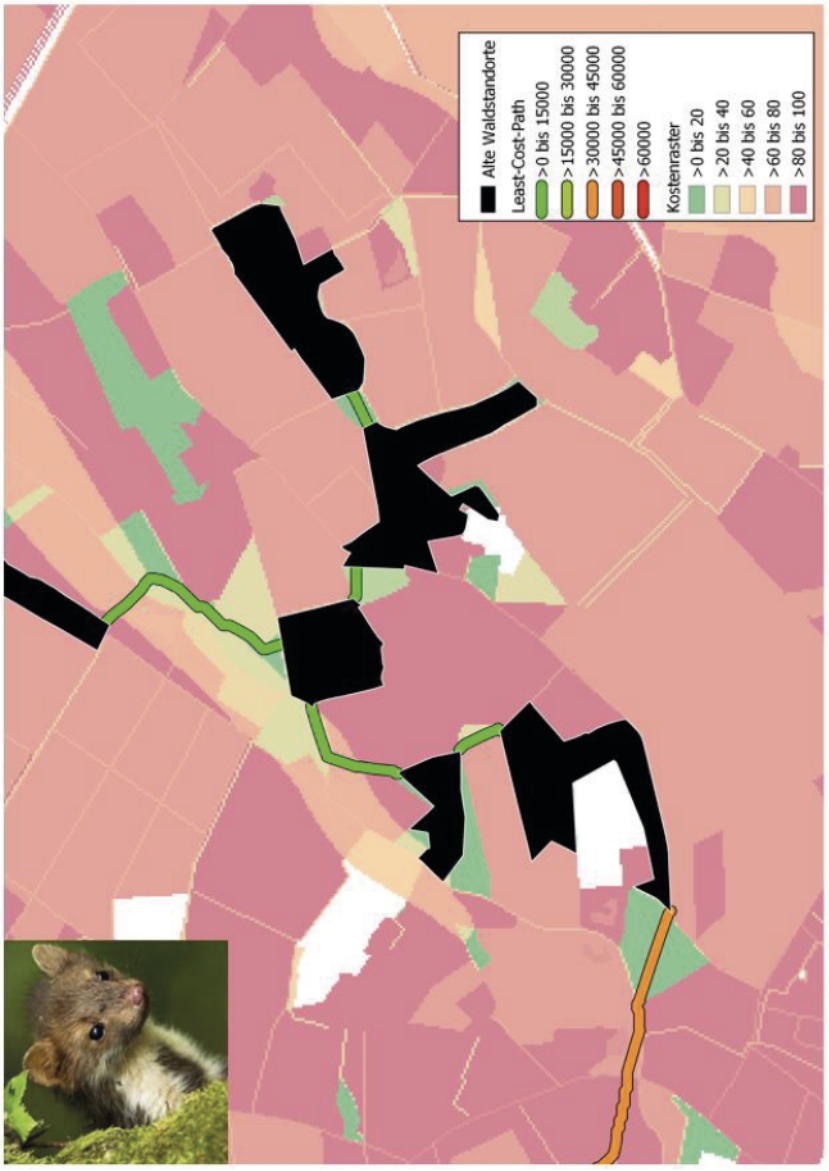


Abb 5a Fallbeispiel Least-Cost Paths des Baummarders *(Martes martes)*

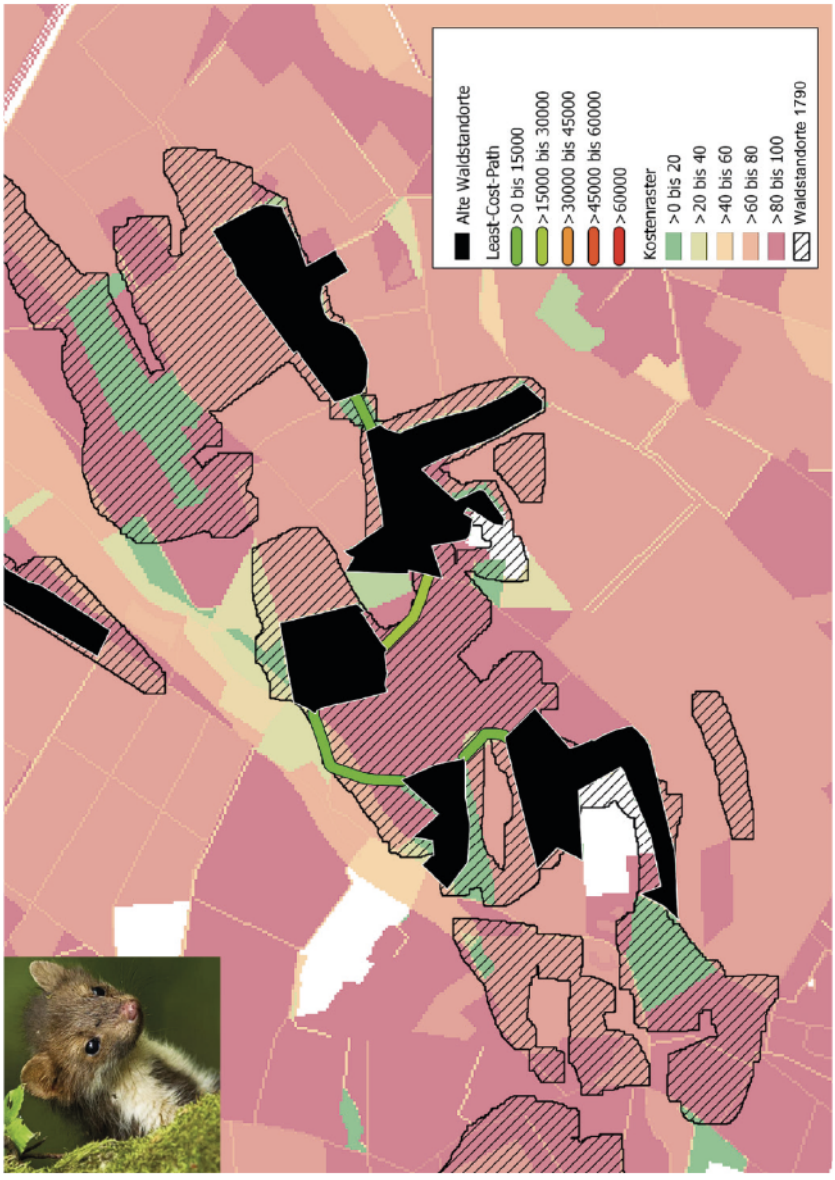


Abb 5b Fallbeispiel Least-Cost Paths des Baummarders (Martes martes) mit rezent erhaltenen alten Waldgebieten vor dem Hintergrund der Ausdehnung der Waldflächen im Jahr 1790

Abb 6a Fallbeispiel Least-Cost Paths wobei nur diejenigen Pfade berücksichtigt sind, die entlang der um 1790 vorhandenen Waldstandorte verlaufen

Abb 7 Fallbeispiel Least-Cost Paths für einen größeren Kartenausschnitt. Im Kartenausschnitt oben links ist das Stadtgebiet Westerstede erkennbar, unten rechts der See (das Zwischenahner Meer)

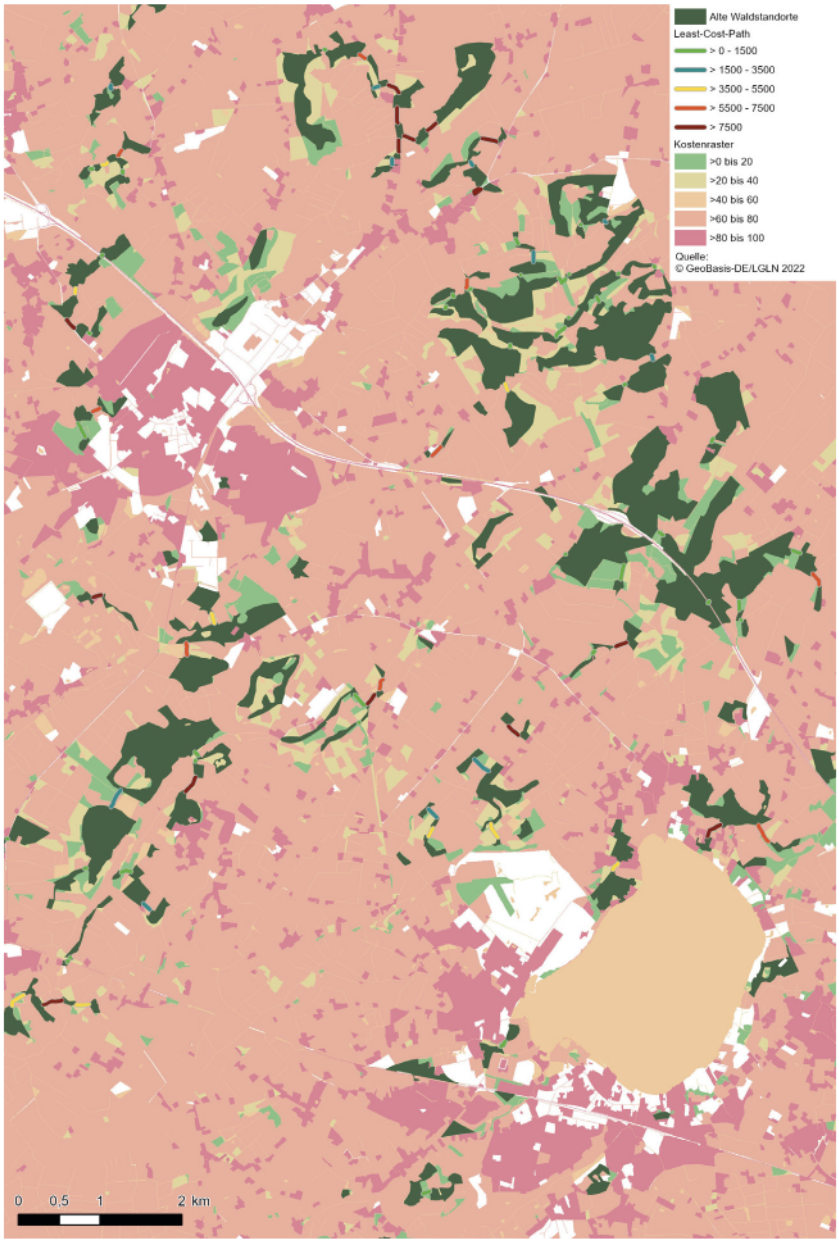
Pfade nicht immer zielführend. Mit Hilfe der angewandten Methode können die Potenziale zur Vergrößerung der historischen Waldflächen und deren stärkerer Vernetzung besser identifiziert werden. Die kostengünstigen Pfade können als Entscheidungshilfe bei der Standortsuche für Renaturierungsflächen dienen. Das Anlegen von Wallhecken und Benjes-Hecken (aufgeschichtetes Totholz) im Bereich der Pfade wäre eine kostengünstige Möglichkeit zur Verbesserung der Habitatvernetzung. Optimal wäre auch eine Wiederherstellung der historisch vorherrschenden Baumarten-Zusammensetzung. Least-Cost Maps und Least-Cost Paths sollten daher auch bei der Suche nach Ausgleichsflächen für größere Bauvorhaben herangezogen werden. Sie dienen als wirksames Instrument zur Förderung des Biotopverbundes auf Landes- und Kreisebene. Ihre Berücksichtigung dient ebenso der Vorsorge und Nutzungskonflikte können frühzeitig erkannt werden.

Schlussfolgerung und Ausblick

Mit Hilfe der GIS-gestützten Konnektivitätsanalyse wurden für das Ammerland artspezifische Konnektivitäten historisch alter Waldstandorte ermittelt. Hierfür war zum einen die Einbeziehung der biologischen Fachkompetenz des BUND hilfreich, zum anderen aber auch die Datenverfügbarkeit in Form der Waldstandorte, der Oldenburgischen Vogteikarten sowie des Basis-DLM. Alle Kostenwerte wurden auf der Grundlage von Fachliteratur (Anhang 1) und im Austausch mit Experten festgelegt. Die resultierenden Least-Cost Maps und Least-Cost Paths bieten eine Grundlage für den Aufbau eines regionsübergreifenden Biotopverbundes. Darüber hinaus können geeignete Realkompensationsflächen schneller identifiziert werden, deren Suche sich oft als schwierig erweist. Mit Hilfe der Least-Cost Maps können die Wohlfühl- und Risikogebiete der betroffenen Tierarten vor Ort ermittelt werden. Darauf aufbauend können potenzielle Konnektivitäten erkannt und damit Gefährdungsbereiche reduziert werden. Die zugrundeliegenden Geodaten repräsentieren den bis 2023 verfügbaren Datenbestand. Mit Inkrafttreten des ATKIS-Objektartenkatalogs 7.1.2 im

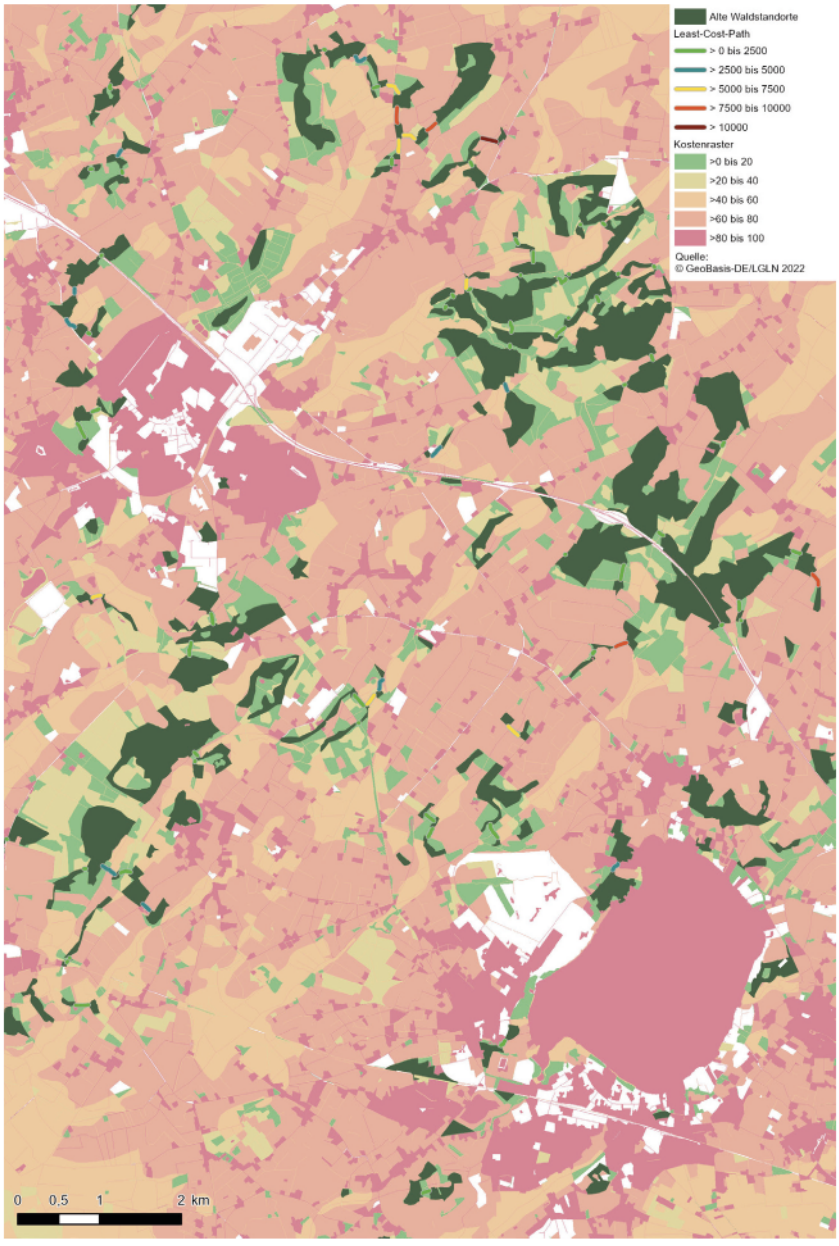


6a Mittelspecht *(Leiopicus medius)*





6b Glatter Laufkäfer *(Carabus glabratus)*



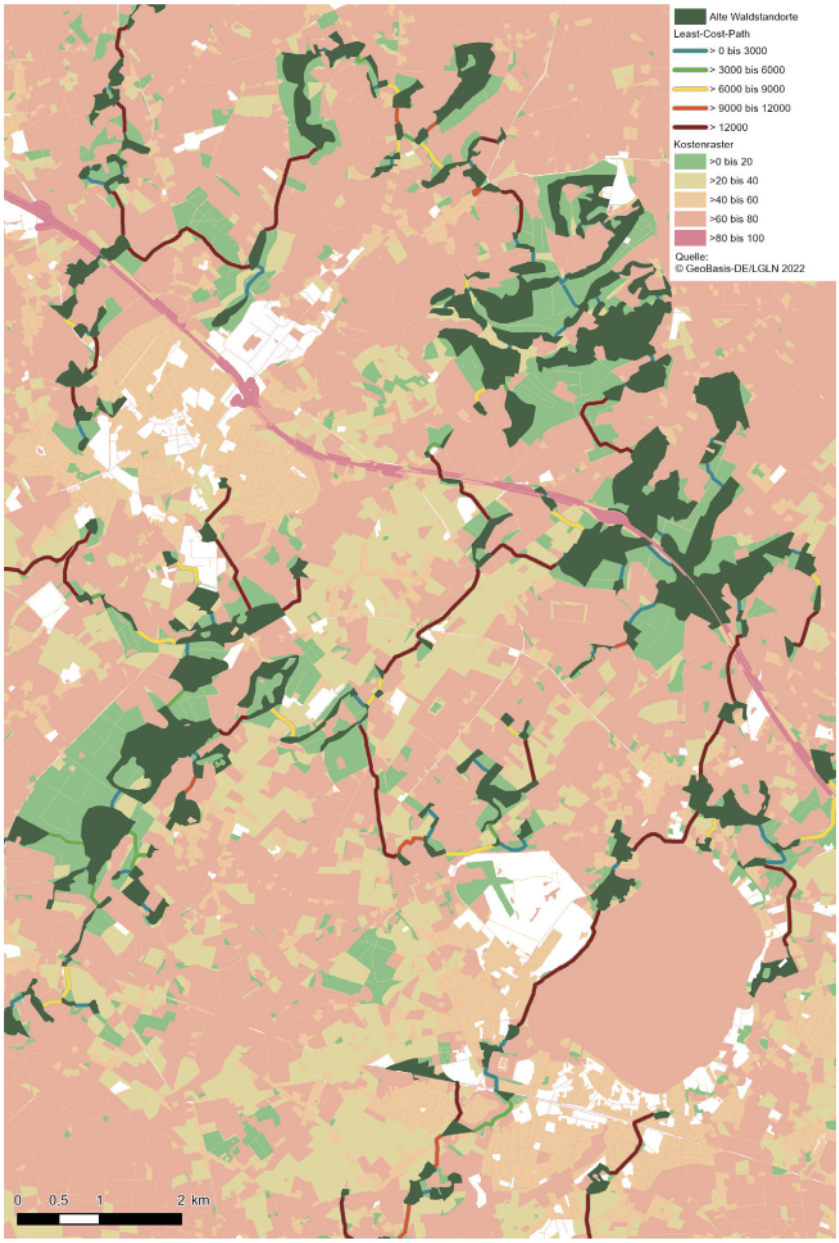


6c Baummarder *(Martes martes)*



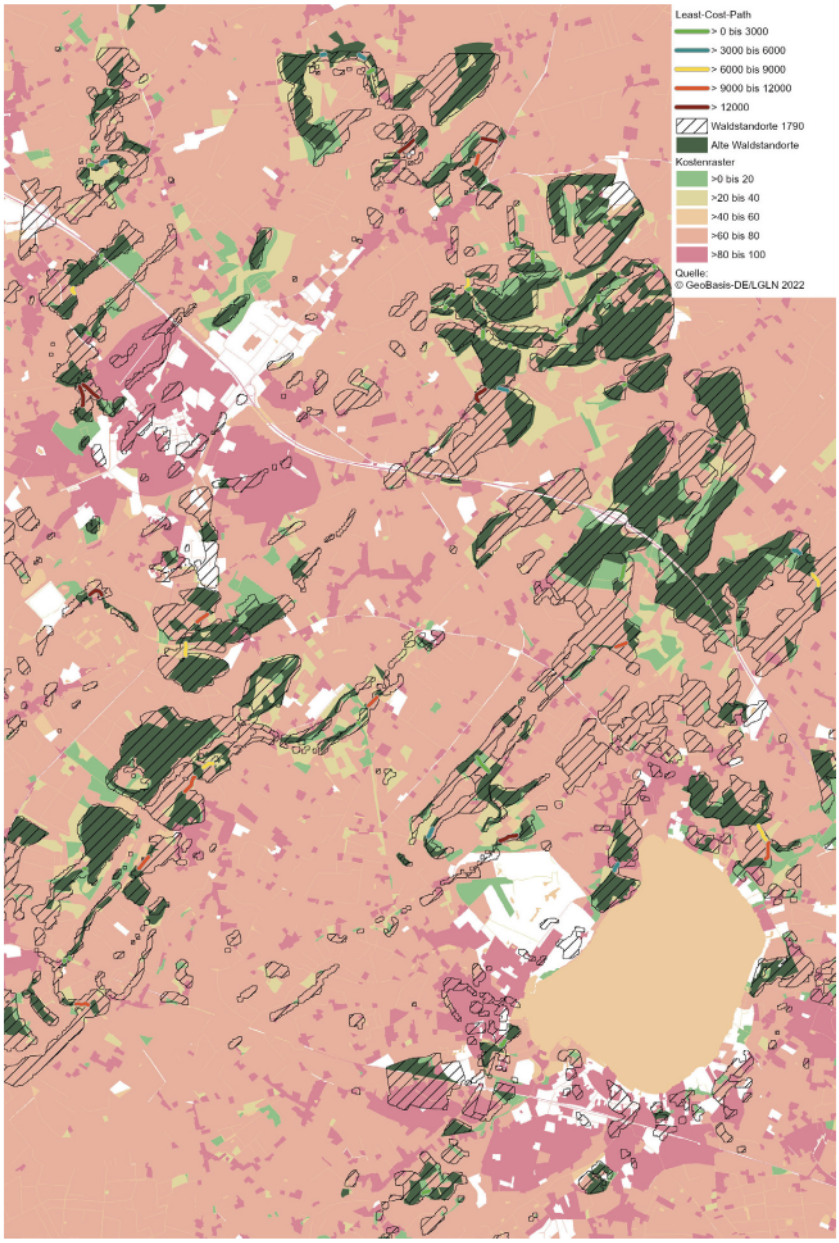


6d Großes Mausohr *(Myotis myotis)*



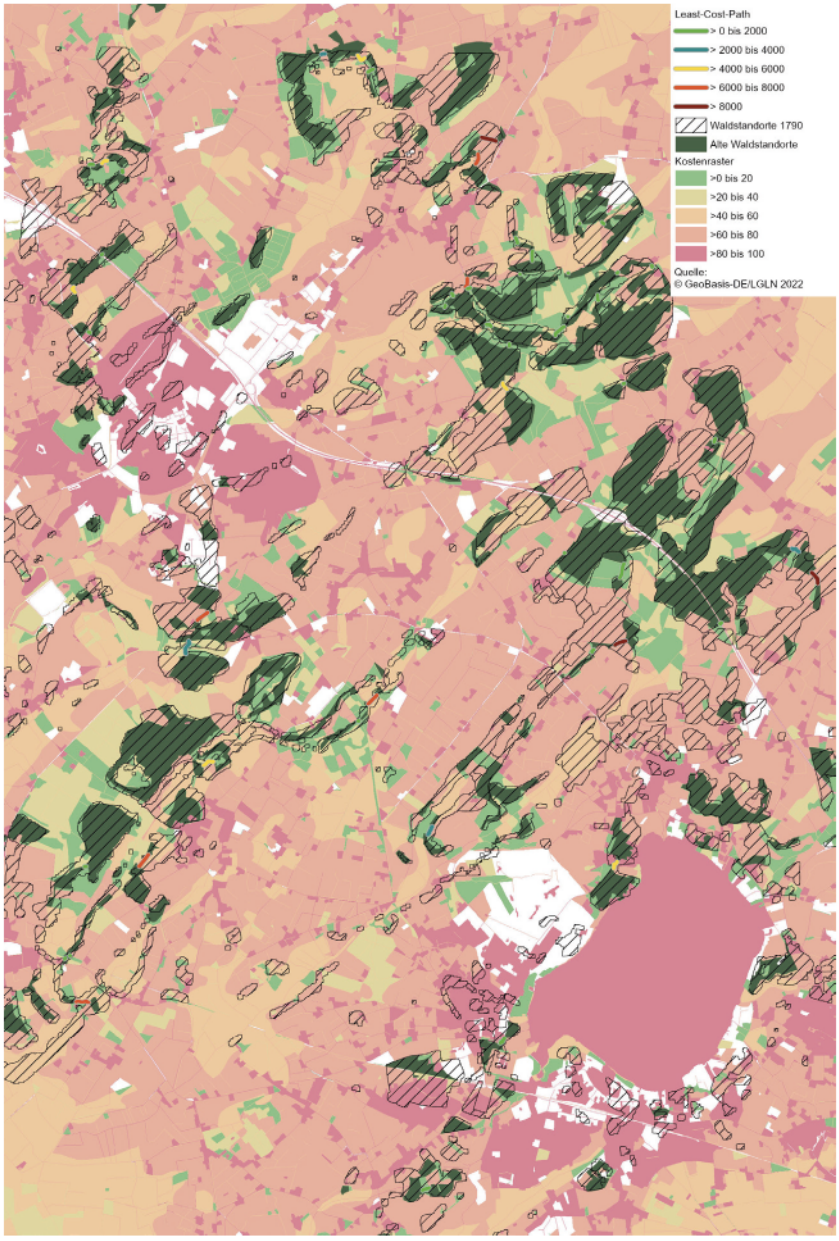


7a Mittelspecht *(Leiopicus medius)*



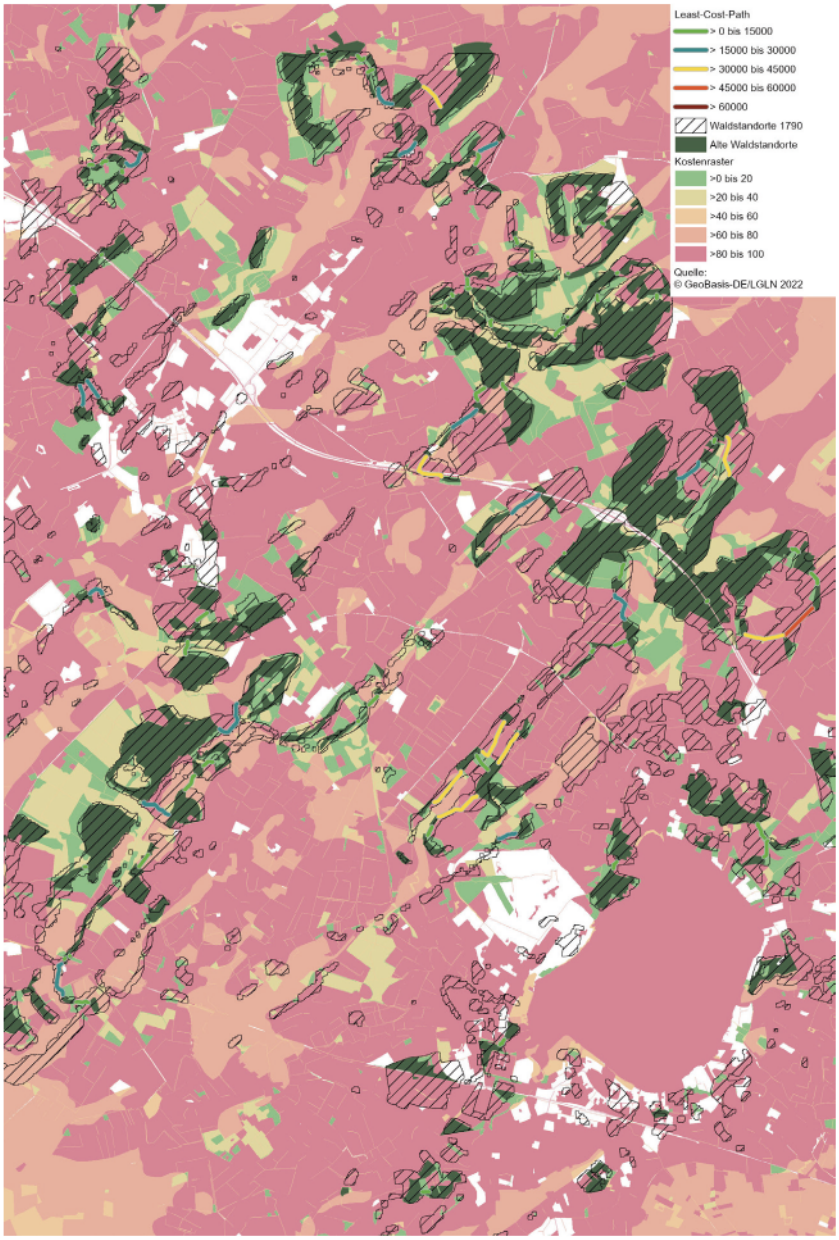


7b Glatter Laufkäfer *(Carabus glabratus)*





7c Baummarder *(Martes martes)*





7d Großes Mausohr *(Myotis myotis)*



Jahr 2024 ist eine Aktualisierung möglich. Eine Umsetzung auf Basis anderer Tier- oder Pflanzenarten sowie anderer artspezifischer Präferenzen kann mit Hilfe des auf GitHub bereitgestellten Quellcodes (https://github.com/Fried666/Masterprojekt-Pesch-2023) und programmiertechnischer Expertise erfolgen. Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren kann somit mit einer Expertengruppe wiederholt oder auf andere Untersuchungsgebiete übertragen werden. Darüber hinaus könnte eine Analyse hinsichtlich der Auswirkungen von Veränderungen nützlich werden. Sofern ein Waldstandort gerodet wird, ließe sich mit der Methode ermitteln, inwieweit sich das auf die Habitat-Vernetzung in der Umgebung auswirkt. In Planungsprozessen könnten direkte Querungskorridore geplant oder Bauvorhaben aufgrund von Konnektivitäten bewertet werden. Eine Weiterentwicklung der Methode hinsichtlich der einfachen Anwendung für Biologinnen und Biologen (Entwicklung einer Software, Bereitstellen von Daten) könnte zudem ermöglichen, die komplexen Analyseverfahren auch GIS-unerfahrenen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Die herkömmliche Methode liefert Ergebnisse für eine bestimmte Tierart. Eine Erweiterung des Ansatzes zur Berechnung von gemeinsamen Least-Cost Maps und Least-Cost Paths für eine breite Palette von Tierarten ist ebenfalls denkbar.

Literatur

Assmann, T.; Buse, J.; Dieker, P.; Drees, C.; Eggers, B.; Harry, I.; Homburg, K. (2013): Historisch alte Waldstandorte: Bedeutung und Wert von Lebensraumkontinuität für Tiere. Naturschutz und Biologische Vielfalt, 131, 65-82.

Bachmann, S.; Pasinelli, G. (2002): Raumnutzung syntop vorkommender Buntspechte Dendrocopos major und Mittelspechte D. medius und Bemerkungen zur Konkurrenzsituation. Der Ornithologische Beobachter 99, 33-48.

Bundesnaturschutzgesetz, B. (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege. Gesetz zur Neuregelung des Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege vom, 29.

ESRI (2023): Erstellen des kostengünstigsten Pfades. https://pro.arcgis.com/de/pro-app/3.0/tool-reference/spatial-analyst/creating-the-least-cost-path.htm (Letzter Zugriff am 10.08.2023).

Gurrutxaga, M.; Lozano, P. J.; del Barrio, G. (2010): GIS-based approach for incorporating the connectivity of ecological networks into regional planning. Journal for Nature Conservation. Vitoria-Gasteiz, Spanien.

Jedicke, V. E. (2008): Biotopverbund für Alt- und Totholz-Lebensräume. Naturschutz und Landschaftsplanung, 40(11), 379-385.

LGLN - Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (2022a): Produkte und Dienstleistungen der Vermessungs- und Katasterverwaltung. https://www.lgln.niedersachsen.de/download/126582/Produkte_und_ Dienstleistungen_ der_VKV.pdf (abgerufen am 17. Januar 2023).

LGLN - Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (2022b): Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, © 2022, l-de/by-2 0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0). https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/#bdlm (abgerufen am: 17. Januar 2023).

Landkreis Ammerland (2021): Fortschreibung Landschaftsrahmenplan 2021. Westerstede.
Nistal, M (2000): Die Oldenburgische Vogteikarte 1790/1800. Historische Kommision für Niedersachsen und Bremen, Hannover.
Röhner, S. (2019): Beitrag von Dachbegrünungen zu den Funktionen Biotopverbund und Wasserretention. (Institut für Landwirtschaft und Umwelt. Nürtlingen-Geislingen.
Singleton, P. H.; McRae B. (2013): Assessing habitat connectivity. Craighead, F.L., C.L. Convis (eds) 2013. Conservation.
Taylor, P. D.; Fahrig, L.; With, K. A. (1993): Landscape connectivity: a return to basic. Cambridge University Press. Cambridge.
Tischendorf, L.; Fahrig, L. (2000): On the usage and measurement of landscape connectivity. OIKOS 90: 7-19. Copenhagen.
UN 2015, General Assembly Seventieth session: Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/89/pdf/n1529189.pdf
Weyer, J. (2014): Die Auswirkungen der Habitatfragmentierung auf die Konnektivität von Populationen unterschiedlich mobiler Insektenarten - unter besonderer Berücksichtigung der Kurzfühlerschrecke Chorthippus montanus und des Tagfalters Brenthis ino. (Universität Trier) Trier. 7-9.
Wulf, M. (2004): Historisch alte Wälder – Definition, Sachstand und Ziele. Kennzeichen und Wert historisch alter Wälder, Band 5, 4-7.
Zahn, A. (1999): Reproductive success, colony size and roost temperature in attic-dwelling bat Myotis myotis. J. Zool., Lond. 247. 275-280.
Zalewski, A., Jedrzejewski, W., (2006): Spatial organization and dynamics of the pine marten Martes martes population in Bialowieza Forest (E. Poland) compared with other European woodlands. Ecography. Nr. 29: 31-43.

Anhang 1:

Quellen, die für die Quantifizierung der Least Cost Maps genutzt wurden

Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2023: Mittelspecht (Dendrocoptes medius). https://www.lfu.bayern.de/natur/sap/arteninformationen/steckbrief/zeige?stbname=Dendrocoptes+medius (Letzter Zugriff am: 22.05.2023).
Borchert, M., Stier, N., 2015. Monitoringanleitung zur Erfassung der Verbreitung und von Populationsdichten des Baummarders. (TU DRESDEN). Dresden.
Dietz, C., von Helversen, O., Nill, D., 2009. Bats of Britain, Europe and Northwest Africa. A & C Black.
Dordnieden, K., 2005. Laufkäfer. Carabidae. Naturschutzverband Niedersachsen e.V. – Biologische Schutzgemeinschaft Hunte Weser Ems e.V.
Downs, N.C., Beaton, V., Guest, J., Polanski, J., Robinson, S.L., Racey, P.A., 2003. The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of Pipistrellus pygmaeus. Biological Conservation, 111, 247-252.).
Gatter, W., H. Mattes, 2008: Ändert sich der Mittelspecht Dendrocopos medius oder die Umweltbedingungen? Eine Fallstudie aus Baden-Württemberg.
Holzgang, O., Muggli, J., 2005. Marder im Kanton Luzern. Verbreitung, Biologie, Schutz, Konflikte, Jagd. Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Abteilung Fischerei und Jagd. Luzern.
Hutterer, R., Ivanova, T., Meyer-Cords, C., Rodrigues, L., 2005. Bat Migrations in Europe: A Review of Banding Data and Literature. Federal Agency for Nature Conservation.
NABU, 2023: Mittelspecht Leiopicus medius. https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/portraets/mittelspecht/ (Letzter Zugriff am: 22.05.2023).

Niethammer, J., KRAPP, F., 1993: Handbuch der Säugetiere Europas. Band 5: Raubsäuger – Carnivora, Teil I: Canidae, Ursidae, Procyonidae, Mustelidae 1 Aula Verlag Wiesbaden.

O`Mahony, D. T., O`Reilly, C., TURNER, P., 2012. Pine marten (Martes martes) distribution and abundance in Ireland; A cross-jurisdictional analysis using non-invasive genetic survey techniques. Mammalian Biology. Journal for Nature Conservation. Nr. 77: 351-357.

Reichholf, J. H., 2015. Faunistisch-ökologische Mitteliungen vom unteren Inn. Betrachtung zur fotografischen Dokumentation eines schwimmenden Baummarders (Martes martes). (Zoologische Gesellschaft Braunau) Braunau.

Russ, J., Montgomery, W.I., Racey, P.A., 2003. The effects of roads on populations of small mammals. Journal of Applied Ecology, 40(4), 725-733.)

Schäfer, P., 2004. Ein Vorkommen von Carabus glabratus im großen Moor bei Uchte, Niedersachsen. Oldenburg.

Stier, N., 2012. Zur Populationsökologie des Baummarders (Martes martes L., 1758) in Nordost-Deutschland. Wildtierforschung in Mecklenburg-Vorpommern, Band 1.

Stone, E.L., Jones, G., & Harris, S., 2012. Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. Global Change Biology, 18(8), 2458-2465).

Stone, E. L., Harris, S., Jones, G., 2015. Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. Mammalian Biology, 80(3), 213-219.

Wachmann, E., 1995. Laufkäfer – Beobachtung, Lebensweise (Naturbuchverlag Augsburg). Augsburg.

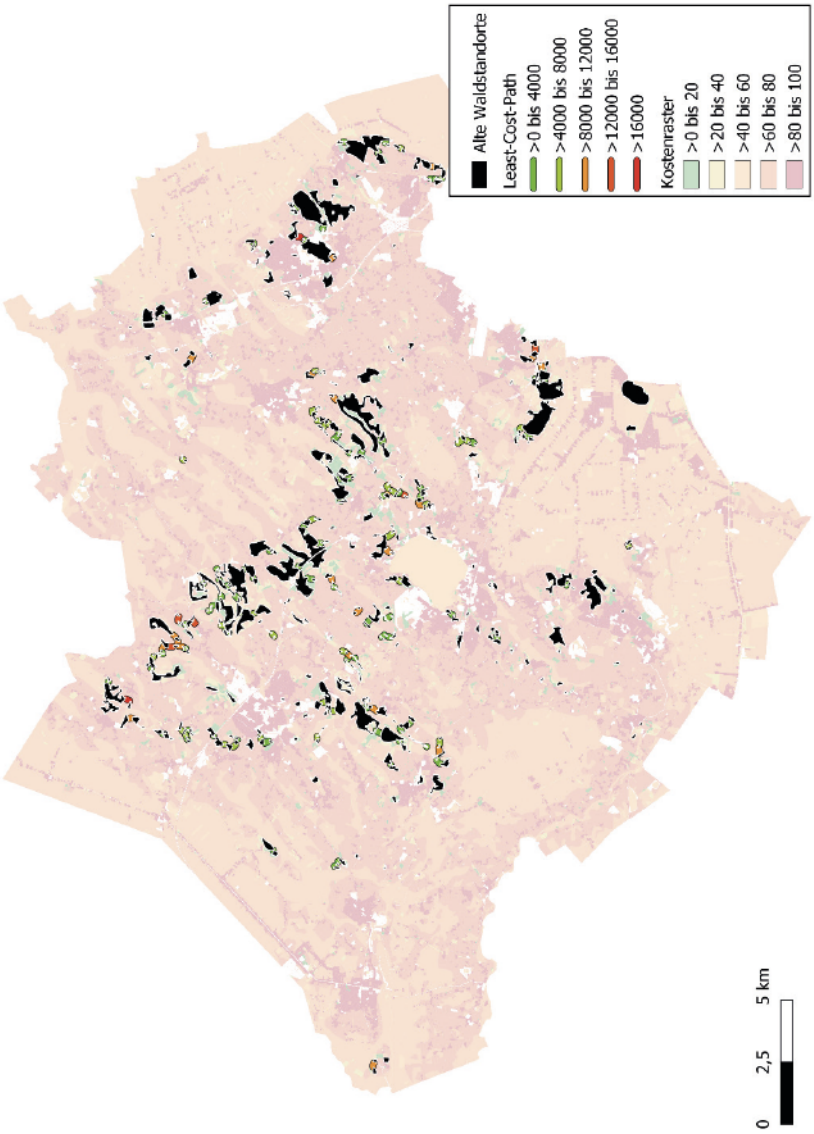
Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G., Vaughan, N., 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. Journal of Applied Ecology, 40(6), 984-993.).

Wulf, M., 1994. Überblick zur Bedeutung des Alters von Lebensgemeinschaften, dargestellt am Beispiel „historisch alter Wälder“. – NNA Berichte 7 (3): 3-14.

Anhang 2:
Least Cost Maps für das Ammerland

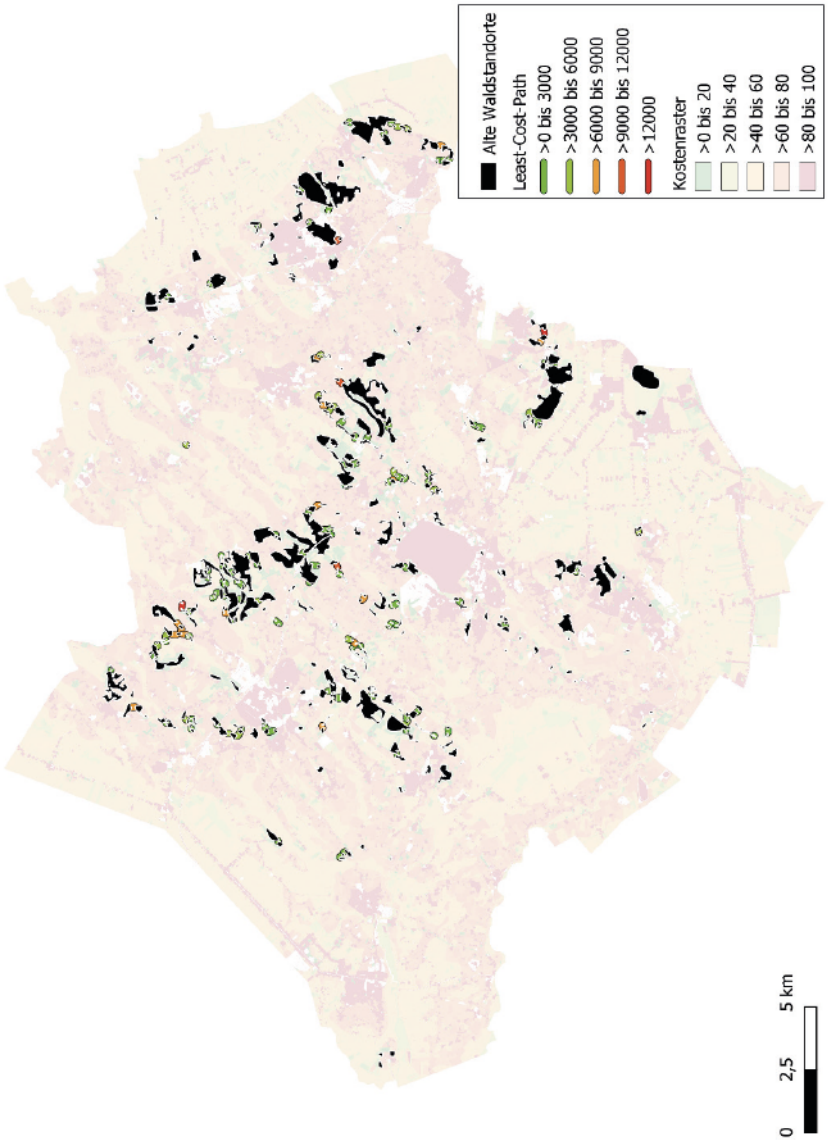


Mittelspecht *(Leiopicus medius)*



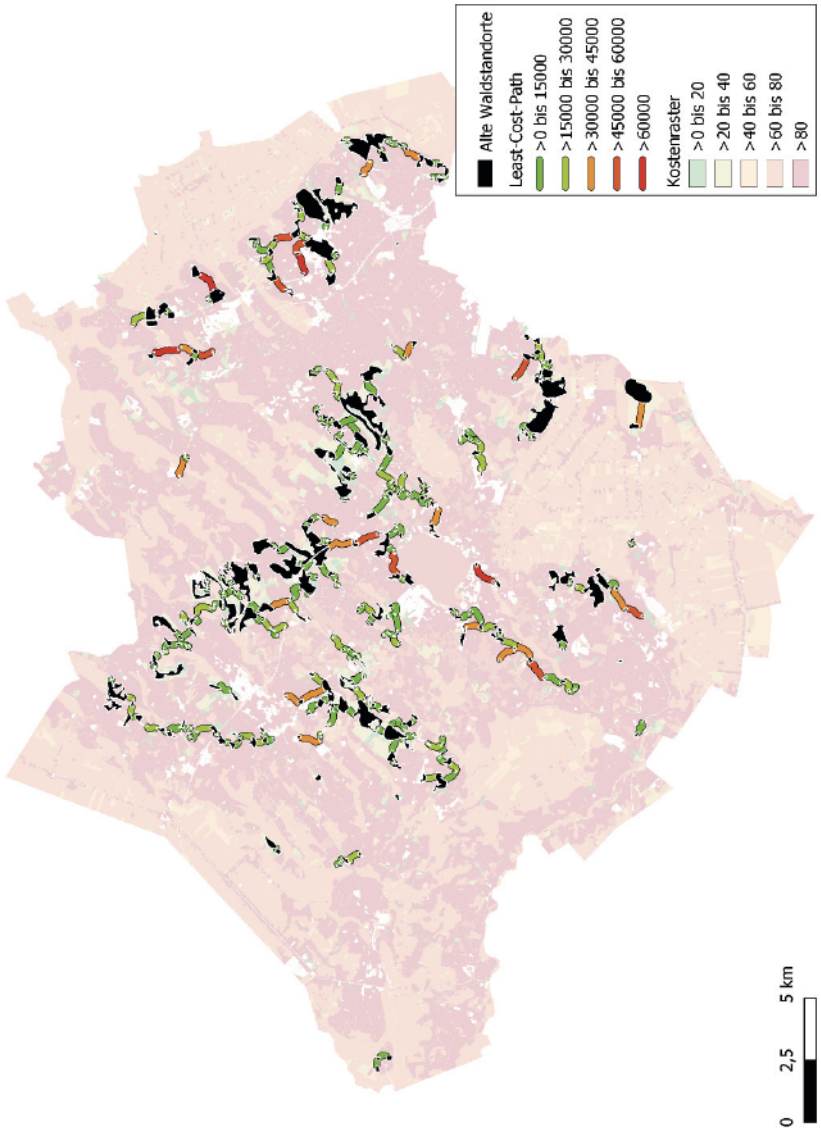


Glatter Laufkäfer *(Carabus glabratus)*



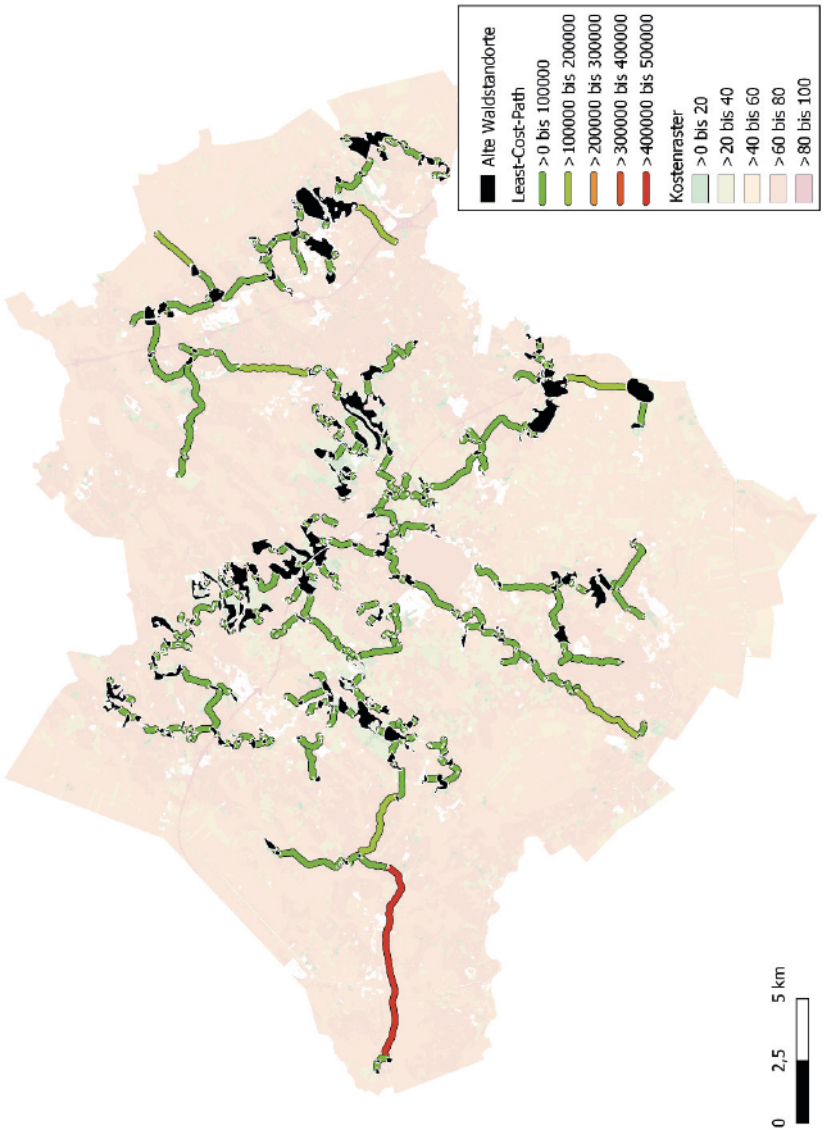


Baummarder *(Martes martes)*





Großes Mausohr *(Myotis myotis)*



Transformation Dynamics

Feldrain-Photovoltaik als innovatives Element zur Bereicherung des agrarisch genutzten Landschaftsraumes und seiner nachhaltigen Transformation

Manfred Kayser [1,2,6], Christine Aka [3], Armando W. Colombo [4], Johannes Isselstein [2], Johannes Rolink [4], Sven Steinigeweg [4], Karen Baumann [1], Marie Scheffler [3], Hannes Foth [5], Broder Breckling [1]

(1) Universität Vechta, Driverstraße 22, 49377 Vechta
(2) Universität Göttingen, DNPW, Von-Siebold-Str. 8, 37075 Göttingen
(3) Institut für Kulturanthropologie des Oldenburger Münsterlandes e.V., Museumstraße 25, 49661 Cloppenburg
(4) Hochschule Emden/Leer, Constantiaplatz 4, 26723 Emden
(5) Jade Hochschule, Institut für angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Straße 16/19, 26121 Oldenburg
(6) Korrespondierender Autor: manfred.kayser@uni-vechta.de

Abstract

Das Forschungsvorhaben „Nordwest Niedersachsen Nachhaltig Neu“ (4N) entwickelt in einem seiner Teilvorhaben (TV 7) eine neue Variante zur Integration von Photovoltaik in die Agrarlandschaft. Das Konzept der Feldrain-Photovoltaik wird als integrierender Ansatz vorgestellt, der Zielkonflikte bei der Erreichung sozialer, ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeitsdimensionen auf produktiv genutzten landwirtschaftlichen Flächen reduzieren könnte. Durch die Etablierung von Randstreifen mit hoher biologischer Vielfalt, in die teilbeschattend Photovoltaik-Module integriert werden, könnte ein erweitertes Potenzial zur Gewinnung regenerativer Energie erschlossen werden. Flächenkonkurrenzen zwischen energetischer und agrarischer Nutzung und Konflikte zwischen Biodiversitätsförderung und Bewirtschaftung könnten auf diese Weise gemindert werden. Die exemplarische Erprobung im Rahmen eines Reallabor-Prozesses und dessen Skalierung auf den regionalen Raum wird als Beitrag zur Transformationsforschung in einem Reallabor-Prozess aus technologischer, ökologischer und sozio-kultureller Perspektive vorangetrieben.

Schlüsselworte:

Feldrain; Photovoltaik; Biodiversität; Ländliche Räume; Reallabor; Zielkonflikte

Zitation:

Kayser et al. Feldrain-Photovoltaik als innovatives Element zur Bereicherung des agrarisch genutzten Landschaftsraumes und seiner nachhaltigen Transformation. Transformation Dynamics 2025, 2, 3. (S. 67 - 79). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Der Ausbau regenerativer Energien ist ein dringendes Erfordernis zur Erreichung von Klimaschutz-Zielen und Nachhaltigkeit.

Der Ausbau regenerativer Energiegewinnung ist ein Anliegen von hoher Priorität, um dringliche Nachhaltigkeitsziele zu erreichen (UN 2022). Die Europäische Union formulierte im Rahmen des Klimaschutzgesetzes das Ziel, bis 2050 klimaneutral zu werden (EU 2021). Der Ausbau von Anlagen zur Gewinnung regenerativer Energie in Deutschland wird als eine Frage der Öffentlichen Sicherheit erachtet (Deutscher Bundestag 2022). Damit gibt es ein sehr weites Einvernehmen über den Bedarf und die Umsetzungsbereitschaft, damit verbundene Transformationen voranzubringen.

Eine bisher noch nicht systematisch untersuchte Möglichkeit regenerative Energienutzung in Verbindung mit Maßnahmen zum Erhalt der biologischen Vielfalt zu nutzen, wurde bisher kaum verfolgt und wird von uns als neue Option in den Diskurs eingebracht. Umgesetzt wird dieser Ansatz im Rahmen des Forschungsvorhabens „Nordwest Niedersachsen Nachhaltig Neu“ (4N) – Forschungsverbund: Transformation und Strukturwandel im ländlichen Raum Nordwestdeutschlands: Reallabore in Marsch, Moor, Geest und Mee(h)r (https://vier-n.de/project/teilvorhaben-7/).

Während viele der bisherigen Konzeptionen des Ausbaus regenerativer Energien zur Stromerzeugung flächenbezogene Nutzungskonkurrenzen beinhalten oder Zielkonflikte mit anderen schutzwürdigen Belangen bestehen, präsentieren wir hier das Konzept einer Integration regenerativer Energiegewinnung in bestehende Landnutzungssysteme. Mit diesem Konzept sind Synergien verbunden, die zusätzliche Potenziale zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele (Kaumanns et al. 2016) beinhalten.

Klimakrise und Strukturwandel erfordern neue Antworten für die Landwirtschaft

Die Rahmenbedingungen sind für die landwirtschaftlichen Betriebe in den letzten Jahrzehnten schwieriger geworden. Der Anstieg der Kosten im Verhältnis zu den erzielbaren Erzeugerpreisen macht es besonders für Familienbetriebe herausfordernd, die traditionell generationenübergreifenden Perspektiven fortzuführen (Schürmann 2021). Die Gesamtzahl landwirtschaftlicher Betriebe geht seit Jahren zurück, die durchschnittlichen Betriebsgrößen nehmen zu (Tscharntke 2021). Verbunden damit ist ein Trend zur Vereinfachung von

Fruchtfolgen. Zielkonflikte weiten sich aus zwischen dem Erreichen aktueller ökonomischer Erfordernisse und den ökologisch sowie agronomisch anzustrebenden Nachhaltigkeitszielen zur Gewährleistung der langfristigen Tragfähigkeit der verfolgten Wirtschaftsmodelle. Zukunftsdiskurse zur Transformation in der Landwirtschaft werden deshalb intensiv geführt (Zukunftskommission Landwirtschaft 2021).

Den gesellschaftlich und ökonomisch bedingten transformativ wirksamen Triebkräften fügt der Klimawandel einen weiteren, gravierend wirkenden Unsicherheitsfaktor hinzu (Dietzsch 2017). Weitgehende Einigkeit besteht darüber, dass die Häufigkeit von Extremwetterlagen ansteigt und in der Zukunft weiter zunehmen wird (Rahmstorf und Schellnhuber 2018). Die Risiken für die landwirtschaftlichen Betriebe erhöhen sich dadurch. Es ist zu erwarten, dass der Bewässerungsbedarf erheblich steigt (Riediger et al. 2016). In Nordwestdeutschland kommt regional auch ein steigender Energieaufwand für die Entwässerung wegen des Anstiegs des Meeresspiegels hinzu (Bormann et al. 2018). Um weitere Landsenkungen im küstennahen Bereich zu mindern und die Torfzersetzung in Niedermoorböden zu reduzieren, sind umfangreiche Wiedervernässungen in der Diskussion (Nitsch und Schramek 2021).

Landwirtschaftlicher Strukturwandel macht einen Ausgleich bestehender Zielkonflikte zwischen sozialer, ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit dringlicher – aber auch schwieriger

Die gegebene Konstellation forciert Entwicklungstrends, die zu einer tendenziellen Verschärfung von Zielkonflikten beitragen. Auf diese müssen sich transformative Konzepte einstellen und insbesondere diejenigen Optionen in den Blick nehmen, die zum Abbau, zur Verminderung oder im besten Fall zum Ausgleich der Zielkonflikte beitragen. Zielkonflikte bestehen insbesondere in folgenden Richtungen:

- Die weltweite Bedarfssituation an Nahrungsgütern erzeugt einen zunehmenden Nachfragedruck nach kostengünstigen Lebensmitteln. Steigende Nachfrage nach landwirtschaftlichen Erzeugnissen, höhere Verbraucherpreise und sinkende Erlöse für die Erzeuger können gleichzeitig auftreten (Dachverband Agrarforschung 2012).
- Auf betrieblicher Ebene nehmen Risiken zu – sowohl was die Volatilität der Marktpreise betrifft als auch in der Erzeugung selbst. So unterliegen auch die größeren Betriebe unerwarteten Fährnissen (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2022).

- Der allgemeine Rückgang der biologischen Vielfalt (https://berliner-erklaerung.eu/) wie auch der Biodiversität im Agrarraum hat dramatischen Umfang angenommen (Feindt et al. 2019). Dies beeinträchtigt absehbar direkt die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit des Produktionssystems (Haines-Young und Potschin 2018, EEA 2022).
- Abhängig von der Art der Bewirtschaftung ist eine Tendenz zur langfristigen Reduktion der organischen Substanz im Boden festzustellen (Feindt et al. 2019), die für die Infiltrationskapazität und Wasser- und Nährstoff-Haltevermögen wesentlich ist und die weitere für die Nutzbarkeit maßgebliche Kenngrößen beeinflusst.

Die Suche nach Maßnahmen zum Abbau von Zielkonflikten und zur Stärkung der Resilienz landwirtschaftlicher Nutzung hat daher Dringlichkeit. Dem dient die im Forschungsvorhaben 4N (https://www.uni-vechta.de/4n) in Untersuchung befindliche Feldrain-Photovoltaik. Sie integriert die Nutzung regenerativer Energien auf eine Weise in das Landschaftsbild, die mit anderen Nutzungsformen und deren Nachhaltigkeit nicht in Konflikt steht, sondern diese fördert und unterstützt. Im Forschungsvorhaben soll eine Testanlage aufgebaut, Simulationen verschiedener Anwendungs- und Ertrags-Szenarien durchgeführt sowie Befragungen und Austausch mit landwirtschaftlichen Akteuren organisiert werden.

Bisher entwickelte Photovoltaik für den Einsatz im Agrarbereich: Erste experimentelle Lösungen auf dem Weg in die landwirtschaftliche Praxis

Die Entwicklung von Photovoltaik-Modulen ist inzwischen weit fortgeschritten. Es bestehen Einsatzmöglichkeiten in vielen unterschiedlichen Bereichen. Auch in den gemäßigten Breiten expandiert die Anwendung stark (Wirth, 2022). Das Land Niedersachsen führt aktuell eine Photovoltaikpflicht für alle Neubauten ein (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz 2022), das Land Baden-Württemberg hat dies schon umgesetzt. Nutzungen auf großen Flächen in Solarparks (Freiflächenanlagen, Böhm et al. 2022) sind lukrativ, aber aufgrund der Flächenkonkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln ähnlich umstritten wie der Anbau von (Nahrungs-)Pflanzen zur energetischen Nutzung (Meyer et al. 2010).

Als zusätzliche Option finden Photovoltaik-Installationen eine direkte Integration in die landwirtschaftliche Produktion. Das vermeidet Flächenkonkurrenzen. Diese Anwendungen werden als Agri-Photovoltaik zusammengefasst (Schindele 2021a,b; Weselek et al. 2019). Dazu gehören:

- Photovoltaik-Installationen über Anbauflächen: Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Fraunhofer ISE 2022) hat Anlagen entwickelt und erprobt, die eine gleichzeitige agrarische und energetische Flächennutzung ermöglichen. Dazu werden die Flächen mit Photovoltaik-Paneelen auf hinreichend hohen Gerüsten überbaut. Durch Kombination landwirtschaftlicher und energetischer Nutzung auf derselben Fläche lassen sich kombinierte Nutzungsgrade von weit über 100 % erreichen (Seeger 2017). Ein begrenzender Faktor ist der hohe Investitionsbedarf für die Aufständerung. Deshalb sind die Konzepte überwiegend geeignet für kleinere Flächen und für Sonderkulturen mit hohem Marktwert.
- Photovoltaik-Anlagen in vertikaler Aufstellung: Bifaziale Photovoltaik-Module werden vertikal aufgestellt und erzielen Absorptionsmaxima bei ost-westlicher Einstrahlung in den Morgen- und Abendstunden. Sie liefern Energie in verbrauchsstärkeren Stunden des Tages (https://www.next2sun.de/, abgerufen am 07.11.2024). Die Anlagen sind beispielsweise für Weideflächen geeignet, auf denen eine Exposition in Reihen mit etwa 10 m Abstand möglich ist. Als Erweiterung des Ansatzes kommt auch die Nutzung als Solarzaun für Flächenbegrenzungen in Betracht.
- Semitransparente PV-Zell-Technologie: Semitransparente Module ermöglichen sowohl die Absorption als auch die Transmission von Photonen und damit die nur teilweise Beschattung der darunter sich befindenden Vegetation. Zum einen lässt sich die Transparenz eines Moduls durch den Abstand der Zellen beeinflussen, zum anderen ist es möglich, Zelltypen mit sehr dünnen Schichten zu verwenden. Ferner gibt es Zellen, die Transparenz dadurch erzielen, dass sie selektiv Photonen im UV- bzw. Nahinfrarotbereich absorbieren und den sichtbaren Bereich des Lichtes durchlassen (Gorjian et al. 2022).

Feldrain-Photovoltaik: Ein neues Landschaftselement mit dem Potenzial zur Verringerung von Zielkonflikten im landwirtschaftlichen Strukturwandel

Feldrain-Photovoltaik stellt eine mögliche Konzeption zur Weiterentwicklung regenerativer Energie-Systeme und ein zusätzliches Element zum Erhalt der biologischen Vielfalt im Landschaftsraum dar. Die Grundidee besteht darin, entlang von Feld-Randstrukturen, die traditionell als Feldraine bezeichnet werden, Photovoltaik-Module so zu etablieren, dass die bisherige Flächennutzung nicht wesentlich davon berührt wird (Abb. 1). Besonders eignen sich dazu nach Süden offene Ränder an den

nordseitig gelegenen Grenzlinien von Feldern (Abb. 2). Die agrarische Nutzung wird dadurch um die Verfügbarkeit regenerativer Energie erweitert.

Die Randstreifen müssen auf geeignete Weise gemanagt werden. Hierzu bietet es sich an, Elemente des Ackerrandstreifen-Programms weiter zu entwickeln und z.B. regionale Wildsaat-Mischungen initial auszubringen (Bleeker und Buschmann 2018). Das Ackerrandstreifen-Programm ist eine Fördermaßnahme, die Landwirte und Landwirtinnen dafür entschädigt, temporär die Bewirtschaftung auf Teilflächen auszusetzen, um die biologische Vielfalt im Agrarraum zu erhöhen. Die energetische Nutzung in Form von Feldrain-Photovoltaik für diese Flächen, könnte die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Fördermitteln reduzieren und den ökologischen Nutzen dauerhaft erhöhen, indem die Randstreifen über längere Zeiträume biodiversitätssteigernd zur Verfügung stehen. Dort werden längerfristig wirksame Prozesse der Biodiversitäts-Entwicklung anbaubegleitend ermöglicht. Im Landschaftsrahmen betrachtet entsteht eine umfangreichere Verknüpfung biotopvernetzender Korridore für Wildarten. Die Vergrößerung von Bewirtschaftungseinheiten und eine Spezialisierung auf wenige Kulturen gelten als wesentliche Gründe für den Rückgang der biologischen Vielfalt (Tscharntke 2021).

Feldraine, die eine wichtige Funktion für die biologische Vielfalt im Agrarraum haben, stellen ein wichtiges ökologisches Potenzial dar (LANUV 2003). Einschränkungen aus technischer und regulatorischer Sicht sind zu berücksichtigende Randbedingungen (Vollprecht et al. 2021). Ansichten und Interessen ländlicher Akteure werden von Beginn an in den Forschungsprozess einbezogen. Hierfür ist die Konzeption des Reallabors (Schäpke et al. 2017) besonders geeignet.

Forschungsfragestellungen zur Ermittlung des Potenzials

Mit der Einführung neuer Landschaftselemente stellen sich für die Transformationsforschung neue Fragen. Diese untersuchen wir im Rahmen des Forschungsvorhabens 4N im Teilvorhaben 7 im Zusammenwirken mehrerer Disziplinen (Abb. 3). Beteiligt an dieser interdisziplinären Kooperation ist die ingenieurstechnische Expertise der Hochschule Emden/Leer, systemökologische, bodenökologische und agrarwissenschaftliche Expertise der Universitäten Vechta und Göttingen und die kulturwissenschaftliche Expertise des Kulturanthropologischen Instituts Oldenburger Münsterland. Auf Ebene des Verbundes 4 N werden weitere interdisziplinäre Anknüpfungspunkte zu Fragen der

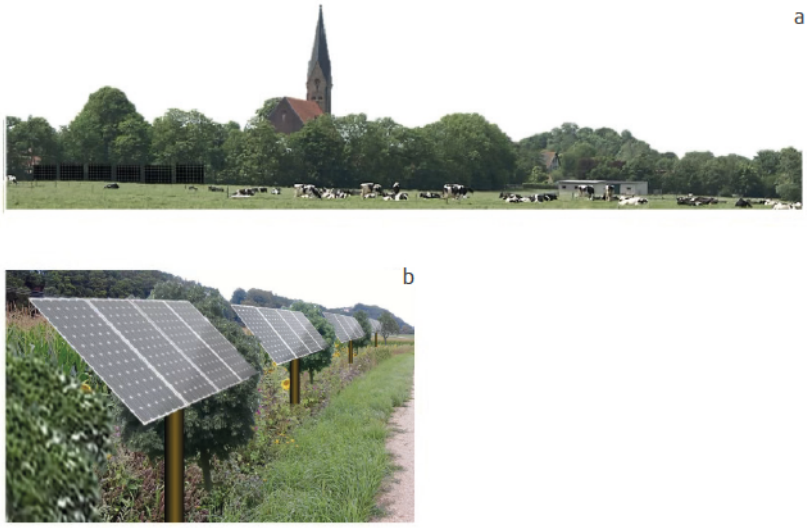


Abb 1 a, b: Fotomontage(n) zur Ausgestaltung von Feldrain-Photovoltaik: In das Landschaftsbild einpassbare Nutzung von Randbereichen. a: wenig auffällige Installation oben links am Gehölzrand, b: Aufstellung vor einem Blühstreifen.

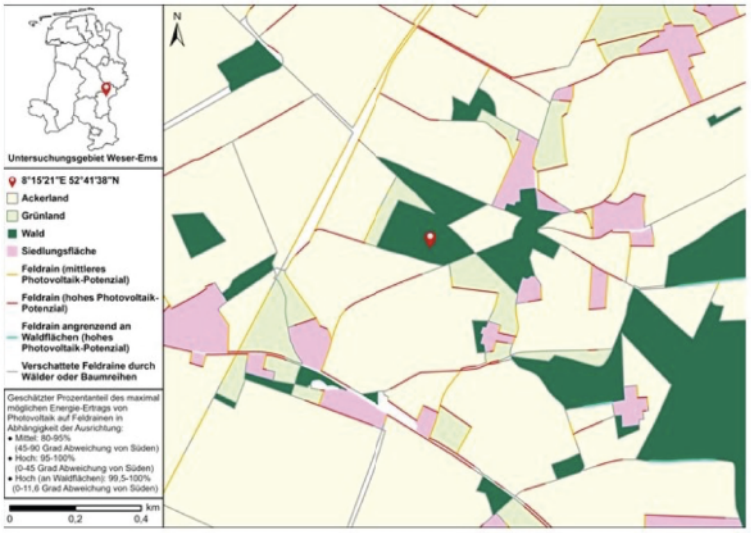


Abb 2 GIS-Modellierung für eine Potenzialanalyse von Feldrain-Photovoltaik im Untersuchungsgebiet Weser-Ems. Quelle: Hannes Foth 2023 unter Verwendung von Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, © 2022 (LGLN), dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0), URL: https://opengeodata.lgln.niedersachsen.de/#bdlm (Abruf: 05.10.2022).

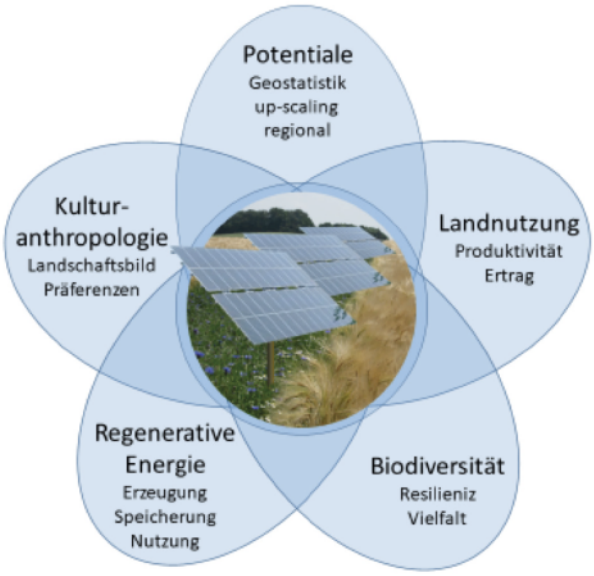


Abb 3 Interdisziplinäre Perspektiven zur Potenzial-Ermittlung der Feldrain-Photovoltaik, die im Forschungsvorhaben „Nordwest Niedersachsen nachhaltig Neu" zusammenhängend untersucht werden. Zum Verständnis der Wirkungen im Landschaftsraum werden Beiträge der Ingenieurswissenschaften, Ökologie, Geostatistik und der Kultur- und Gesellschaftswissenschaften einbezogen.

Raumentwicklung, Governance und Bildung entwickelt und genutzt. Dies führt im Zusammenwirken zu einem vielfältigen Diskurs mit Anwenderinnen und Anwendern aus der Landwirtschaft und weiteren Akteur*innen im ländlichen Raum. In einem partizipativen Co-Creation Prozess werden so mit regionalen Partner*innen Perspektiven für die zukünftige Entwicklung evaluiert – hier am Beispiel der Kombination der Nutzung regenerativer Energien und Erhöhung der Biodiversität. Ausgehend vom Konzept des Reallabors werden diskurs-analytische und partizipativ-anwendungspraktische Ansätze genutzt, die methodisch unter anderem Potenzialanalysen, wirtschaftliche und räumliche Modellierungen, Befragungen, Feldversuche und Demonstrationsanlagen sowie Beschreibungen des Stakeholder-Involvements beinhalten.

- Landwirtschaftliche Nutzung: Randstrukturen sind in der Regel diejenigen Bereiche, die am wenigsten zum Gesamtertrag von Nutzflächen beitragen. Daher kommen sie für ergänzende alternative Nutzungen besonders in Betracht, da hier die etablierte Nutzung am

wenigsten beeinflusst wird. Die energetische Nutzung hängt von den Einstrahlungsbedingungen, der Zugänglichkeit und Netzwerk-Anbindung ab.

- Biologische Vielfalt: Die photovoltaische Nutzung von Feldrainen und Randstreifen erlaubt die Besiedlung durch Wildarten und die Entwicklung von Bewuchs-Strukturen. Daraus können ruderale und segetale Lebensräume verschiedener Sukzessionsalter entstehen, die Korridore und Ausbreitungspfade bilden. Die quantitative Abschätzung des Beitrages zum Erhalt der biologischen Vielfalt im ländlichen Raum wollen wir herausarbeiten. Uns interessiert, wie sich Gestaltungs-Alternativen auf die Förderung verschiedener Organismengruppen auswirken und wie eine Bewirtschaftung des Bewuchses mit einem Minimum an Pflege-Eingriffen erfolgen kann. Ferner ließe sich diskutieren, inwieweit sich durch die dann höhere Landschaftsdiversität eine indirekt wirkende Reduktion des Schädlingsdrucks auf den Anbauflächen ergibt (Gurr et al 2003, Tscharntke et al. 2020).
- Technische Design-Alternativen: Im Rahmen der Entwicklung dieser Co-Nutzungsform betrachten wir unterschiedliche Konfigurationen, die sich für verschiedene Standorte, Grenz- und übergangsbereiche eignen. Besonders in Frage kommen Randstrukturen entlang von Feld-Waldübergängen, aber auch Gewässer-Ränder, die in ökologischer und in technischer Hinsicht unterschiedliche Anforderungen stellen. Beim Einsatz von dezentralen Energie-Erzeugungsanlagen im ländlich-peripheren Raum ist es wichtig zu differenzieren zwischen netzgekoppelten Photovoltaikanlagen und Anlagen im Inselbetrieb. Kann der erzeugte Strom im netzgekoppelten Fall direkt in das öffentliche Stromnetz eingespeist und dadurch ein Mehrwert generiert werden, so muss im Inselbetrieb der Strom vor Ort genutzt werden, z. B. durch elektrische Verbraucher oder durch Umwandlung in andere Energieformen. Mögliche Einsatzgebiete für den erzeugten Strom können sein:
  - Bewässerung von Ackerflächen in Trockenzeiten
  - Entwässerung von tiefer liegenden Gebieten, insbesondere in Zeiten nach großem Niederschlag
  - Versorgung dezentraler Verbraucher, z. B. Straßenbeleuchtung, Aktorik und Sensorik, landwirtschaftliche Anlagen
  - Tourismus, z. B. Ladestationen für E-Bikes
  - Dezentrale Erzeugung und (Zwischen-)Speicherung von Wasserstoff

- Vernetzung und Digitalisierung: Der Einsatz der Systeme ist im landwirtschaftlichen, regionalen Kontext als Teil eines digitalisierten und vernetzten Energie- und Informationssystems zu sehen. Photovoltaik und in Kombination damit auch wasserstofftechnologie-basierte Energiesysteme werden als Komponenten der Energieumwandlungskette untersucht, die sowohl Energieprozesse als auch das assoziierte Informationsmanagement mittels Industrie 4.0-basierter Technologie umfasst.
- Ertrags-Implikationen: Abhängig von der lokalen Situation, von der Netz-Anbindung, von den Speicher- und Energieanwendungs-Optionen gibt es eine Variationsbreite der erreichbaren Rentabilität. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, hierfür Grundlagen zur Abschätzung zu erarbeiten.

Ausblick

Der Umsetzung von Beiträgen zu den hier umrissenen Fragestellungen dienen Reallabor-Arbeiten, die im Forschungsverbund 4N durchgeführt werden (Abbildung 3). Wir erwarten daraus, dass das Potenzial der Photovoltaik für den ländlichen Raum in weiter gespannter Hinsicht nutzbringend ausgeschöpft werden kann, Impulse für den Erhalt und die Förderung der biologischen Vielfalt im Agrarraum gesetzt werden können, Perspektiven der landwirtschaftlich tätigen Akteur*innen auf Klimawandel und Anpassungsstrategien sichtbar gemacht werden und damit neben dem Nutzen für die landwirtschaftlichen Betriebe ein gesamtgesellschaftlicher Mehrwert aus dieser transformativen Aktivität entsteht.

Danksagung

Die Autorinnen und Autoren danken dem Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen (MWK) für die Förderung aus Mitteln des Niedersächsischen Vorab.

Literatur

Bleeker, Walter, Buschmann, Holger 2018: Artenreiches Grünland in Niedersachsen – Schutz und Erhaltung, Anlage und Entwicklung, Broschüre NABU Niedersachsen, 34 S.

Böhm Jonas, Witte, Thomas, Plaas, Elke, 2022: PV-Freiflächenanlagen: Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeit. Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, vol. 100, no 2, S. 1–31, https://doi.org/10.12767/buel.v100i2.421

Bormann Helge, Kebschull, Jenny, Ahlhorn, Frank, Spiekermann, Jan, Schaal, Peter, 2018: Modellbasierte Szenarioanalyse zur Anpassung des Entwässerungsmanagements im nordwestdeutschen Küstenraum. Wasser und Abfall, Vol. 20 no 7-8, S. 60–66.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2022: Bericht zur Markt- und Versorgungslage mit Fleisch, https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/2022BerichtFleisch.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Dachverband Agrarforschung (Hrsg.) 2021: Nutzungskonkurrenzen in der Landwirtschaft – Ursachen, Auswirkungen und Lösungsansätze, Agrarspectrum Schriftenreihe 45. Frankfurt: DLG Verlag, 2012, Grundlagen für eine Moorschutzstrategie der Bundesregierung. Endbericht zum gleichnamigen F+E-Vorhaben (FKZ: 3519 800 300), Institut für Ländliche Strukturforschung (IfLS) an der Goethe-Universität Frankfurt am Main im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz, https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-12/Endbericht_F%2BE_Grundlagen_Moorschutzstrategie_bf.pdf

Deutscher Bundestag 2022: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, https://dserver.bundestag.de/btd/20/016/2001630.pdf

Dietzsch, Ina 2017: Klimawandel. Kulturanthropologische Perspektiven darauf, wie ein abstrakter Begriff erfahrbar gemacht wird, Schweizerisches Archiv für Volkskunde, vol. 113, no 1, S. 21–40.

EEA 2022, European Environment Agency 2022: Towards a Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) for Integrated Environmental and Economic Accounting, https://cices.eu/resources/

EU 2021, Regulation (EU) 2021/1119 of the European Parliament and of the Council of 30 June 2021 establishing the framework for achieving climate neutrality and amending Regulations (EC) No 401/2009 and (EU) 2018/1999 ('European Climate Law'), Official Journal of the European Union 2021: L 243/1, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119

Feindt, Peter H., Krämer, Christine, Früh-Müller, Andrea, Heißenhuber, Alois, Pahl-Wostl, Claudia, Purnhagen, Kai P., Fabian, Thomas, van Bers, Caroline, Wolters, Volkmar 2019: „Kurzdarstellung der Ausgangssituation: Umwelteffekte der Landwirtschaft" in: Ein neuer Gesellschaftsvertrag für eine nachhaltige Landwirtschaft. Berlin: Springer Open, 23–56, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-58656-3_3

Foth, Hannes 2023: Feldraine als Standorte für Photovoltaikanlagen – Ein geodatenbasiertes Bewertungsverfahren für die Region Nordwest Niedersachsen. Bachelor-Arbeit Jade Hochschule Oldenburg, Fachbereich: Bauwesen Geoinformation Gesundheitstechnologie. Studiengang: B.Eng. Wirtschaftsingenieurwesen Geoinformation. 65 S.

Fraunhofer I.S.E. 2022: Agri-Photovoltaik: Chance für Landwirtschaft und Energiewende. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/APV-Leitfaden.pdf (abgerufen April 2022)

Gorjian, Shiva, Bousi, Erion, Özdemir, Özal Emre, Trommsdorff, Max, Kumar, Nallapaneni Manoj, Anand, Abhishek, Kant, Karunesh, Chopra., Shauhrat S. 2022: Progress and challenges of crop production and electricity generation in agrivoltaic systems using semi-transparent photovoltaic technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 158: 112126, https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112126

Gurr, Geoff M., Wratten, Stephen D., Luna, John Michael 2003: Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits, Basic and Applied Ecology, vol. 4, no 2, S. 107–116.

Haines-Young, Roy, Potschin, Marion 2018: Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1. Guidance on the Application of the Revised Structure, https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf

Kaumanns, Sven C., Blumers, Miriam, Junglewitz., Georg 2016: Sustainable Development Goals – Indikatoren für die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, Statistisches Bundesamt | WISTA | 5 |, https://sdg-indikatoren.de//public/wista_SDG.pdf

Lanuv 2003, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW (Hrsg.), Statusbericht zur naturverträglichen Bodennutzung als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen. Bearbeitung: Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Land- und Pflanzenbau van Elsen, Thomas, Reinert, Mark, Ingensand, Tanja, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/natur/pdf/StatusberichtLOEBF_050404.pdf

Meyer, Rolf, Rösch, Christine, Sauter, Arnold 2010: Endbericht zum TA-Projekt Chancen und Herausforderungen neuer Energiepflanzen. Arbeitsbericht Nr. 136, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), https://www.itas.kit.edu/pub/v/2010/meua10a.pdf

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz 2022: Klimaschutzminister Lies: „Klimaschutz ist die Chance für die Zukunft unseres Landes.“, Presseinformation PI 083/2022 vom 4.7.2022, https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/pressemitteilungen/pi83-klimagesetz-212942.html

Rahmstorf, Stefan, Schellnhuber, Hans Joachim 2018: Der Klimawandel. Diagnose, Prognose, Therapie. München: C. H. Beck, 144 S.

Riediger Jan, Breckling, Broder, Svoboda, Nikolai, Schröder, Winfried, 2016: Modelling regional variability of irrigation requirements due to climate change in Northern Germany, Science of The Total Environment, vol. 541, S. 329–340, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.09.043

Schäpke, Niko, Stelzer, Franziska, Bergmann, Matthias, Singer-Brodowski, Mandy, Wanner, Matthias, Caniglia, Guido, Lang, Daniel J. 2017: Reallabore im Kontext transformativer Forschung. Ansatzpunkte zur Konzeption und Einbettung in den internationalen Forschungsstand, Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Ethik und Transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung, no1, 62 S.XX, https://d-nb.info/1127111027/34

Schindele, Stephan 2021a: Feldfrüchte und Strom von Agrarflächen: Was ist Agri-Photovoltaik und was kann sie leisten?, GAIA, vol. 30, no 2, S. 87–95. https://doi.org/10.14512/gaia.30.2.6

Schindele, Stephan 2021b: Nachhaltige Landnutzung und Agri-Photovoltaik: Photovoltaikausbau im Einklang mit der Lebensmittelproduktion, GAIA, , vol. 30, no 2, S. 96–105. https://doi.org/10.14512/gaia.30.2.7

Schürmann, Thomas 2021: Höfe vor der Nachfolge. Landwirtschaft und bäuerliches Selbstverständnis im Oldenburger Münsterland, Cloppenburg: Verlag des Museumsdorfs Cloppenburg, 320 S.

Seeger, Daniel 2017: Agro-Photovoltaik steigert die Landnutzungseffizienz um über 60 Prozent, https://www.pv-magazine.de/2017/11/22/agro-photovoltaik-steigert-die-landnutzungseffizienz-um-ueber-60-prozent/

Tscharntke, Teja 2021: Bedeutung einer vielfältigen und kleinteiligen Agrarstruktur für die Biodiversität und ihre Förderung im Rahmen der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP). Studie im Auftrag der Fraktion B90/Grüne im Deutschen Bundestag, https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/agrar/PDF/Studie_Kleinteilige_vielfaeltige_Agrarstruktur_und_Biodiversitaet-2021.pdf

Tscharntke, Teja, Wiedenmann, Andreas, Piko, Julia, Quente, Johannes, Osten, Fabian 2020: Konkrete Maßnahmen gegen den Insektenrückgang – ein Handlungsrahmen für Baden-Württemberg, Abschlussbericht, https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/5fa7bbbfc653de6ec100c136f6f18767.pdf/Tscharntke%202020%20BaWue%20Bericht%20Ma%C3%9Fnahmen%20Insektensterben.pdf

UN 2022, United Nations Framework Convention on Climate Change, the Kyoto Protocol and the Paris Agreement, United Nations Climate Change Annual Report 2021, https://unfccc.int/sites/default/files/resource/UNFCCC_Annual_Report_2021.pdf

Vollprecht, Jens, Trommsdorff, Max, Hermann, Charis 2021: Legal Framework of Agrivoltaics in Germany.

AIP Conference Proceedings 2361, https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/5.0055133, https://www.researchgate.net/publication/352807853_Legal_framework_of_agrivoltaics_in_Germany

Weselek, Axel, Ehmann, Andrea, Zikeli, Sabine, Lewandowski, Iris, Schindele, Stephan, Högy, Petra 2019: Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review, Agronomy for Sustainable Development, vol. 39, no 35, https://doi.org/10.1007/s13593-019-0581-3

Wirth, Harry 2022: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer ISE, Fassung vom 12.8.2022, https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf

Zukunftskommission Landwirtschaft 2021: Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft, https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/abschlussbericht-zukunftskommission-landwirtschaft.html

Transformation Dynamics

Die Kolonie Hudermoor: Nutzungswandel und Landsenkung im Laufe der Jahrzehnte. Bericht zu einer Storymap

Lara Janßen [(1)], Philipp Sanders [(1,2)], Valentin Sauerbier [(1)]

(1) Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Abteilung Geoinformation, 26121 Oldenburg
(2) Korrespondierender Autor: philippsanders26@gmail.com

Abstract

Die Kolonie Hudermoor, im 19. Jahrhundert auf Initiative des Großherzogtums Oldenburg eingerichtet, bildet einen gut dokumentierten Rahmen für die Veranschaulichung von Transformations- und Veränderungsprozessen in der Landnutzung und den damit verbundenen Auswirkungen. Die Moor-Kolonisierung verfolgte ursprünglich das Ziel der landwirtschaftlichen Erschließung damals marginaler Standorte. Nach der Etablierung folgte eine Phase der ackerbaulichen Intensivierung, die bodenbedingt an Grenzen stieß. Auch die gegenwärtig vorherrschende Grünland-Nutzung steht in der Diskussion und ist nicht unbedingt als bleibende Perspektive anzusehen. Durch die Entwässerung kommt es zu Landsackung bedingt durch den oxidativen Torfabbau, der in den letzten 40 Jahren pro Jahr mehr als einen Zentimeter betragen hat. Neben einer Nutzung als residentieller Raum könnten künftig neue Nutzungen im Zusammenhang mit regenerativer Energie (Photovoltaik) und Wiedervernässung (Paludikultur) Bedeutung gewinnen. Der Beitrag stellt Materialien und Untersuchungsergebnisse vor, die in einer online zugreifbaren Storymap zusammengeführt sind, die das Gebiet, seine Entwicklung und aktuelle Ansichten multimedial veranschaulicht.

Schlüsselworte:

Hudermoor, Moorsiedlung, Nutzungswandel, Landsenkung, Moorsackung

Zitation:

Janßen, L., Sanders, P. Sauerbier, V. : Die Kolonie Hudermoor: Nutzungswandel und Landsenkung im Laufe der Jahrzehnte. Bericht zu einer Storymap. Transformation Dynamics 2025, 2, 4. (S. 81-93). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einführung

Im Zuge eines Masterprojektes an der Jade Hochschule Oldenburg wurde unter Betreuung von Professorin Ingrid Jaquemotte und Professor Roland Pesch eine StoryMap entwickelt, die aktuelle Geo-Daten, historische kartografische Informationen und Modellrechnungen zusammenbringt. Das Thema ist eine geografische und historische Darstellung der Kolonie Hudermoor (Janßen et al. 2024).

Eine Storymap ist eine webbasierte Anwendung, mit der Karten und Begleittext sowie andere Multimediainhalte in einem online zugänglichen, gemeinsamen Rahmen interaktiv verfügbar gemacht werden können. Als Grundlage wurde ArcGIS StoryMap verwendet (https://doc.arcgis.com/de/arcgis-storymaps/get-started/what-is-arcgis-storymaps.htm).

Die Story präsentiert verschiedene Stationen der Kolonie Hudermoor, historische Informationen über die Entstehung als geplante Maßnahme der landwirtschaftlichen Erschließung des Moores östlich der Stadt Oldenburg in Niedersachsen. Zusammengetragen sind historische Landnutzungsdaten, die einen Überblick zu Veränderungen seit der Gründung Mitte des 19. Jahrhunderts gibt. Dabei wird sichtbar, dass hinsichtlich des Nutzungsinteresse und seinen Umsetzungen mehrfache Transformationen in den Umweltbeziehungen und den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen gegeben hat: Stand zunächst die Etablierung und folgend die Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität im Vordergrund, wird inzwischen deutlicher sichtbar, dass die mit der Nutzung verbundene Trockenlegung des Bodens zu mikrobiellem Torfabbau verbunden mit Landsenkungen führt. Dabei werden große Mengen CO_2 frei. Der Umfang dieses Prozesses wurde durch Höhenvergleiche verschiedener kartografischer Aufnahmen quantitativ analysiert.

Für die hier vorgelegte textliche Dokumentation wurden aus der Storymap der Transformations-Aspekt der Landnutzung und die Landsenkung fokussiert. Die vollständige Story mit weiteren Themen der geschichtlichen Entwicklung und einem virtuellen Stationsdurchlauf ist über folgenden Link erreichbar: https://storymaps.arcgis.com/stories/d9e192ba637a48fbbd25e97744b595e9

Die Anfänge: Errichtung der Kolonie Hudermoor

Die Kolonie Hudermoor liegt im Nordwestlichen Niedersachsen zwischen Oldenburg und Bremen im Landkreis Oldenburg. Mitte des 19. Jahrhunderts entstand sie im Stedinger Moor als eine neue, vom Großherzogtum

Oldenburg mit detaillierten Vorgaben geplante Moorsiedlung. Zur Kolonie gehören vier parallele Straßen, der Kleine Klosterweg, Klosterweg, Königsstraße und Friedrichsstraße (Janzen, 1994). Auf dem Luftbild von 2020 (Abb. 1) ist als Umring die Fläche der damals geplanten Koloniesiedlung eingezeichnet, der diese vier Straßen umschließt.



Abb 1 Die Kolonie Hudermoor im Satellitenbild bei Google Earth. Die ursprüngliche, regelmäßige Anlage der Gehöfte ist noch deutlich zu erkennen. Gelb umrandet: der in Abb. 5 dargestellte Bereich, orange gestrichelt: der in Abb. 2 gezeigte Bereich aus der Gemeindekarte von 1902; Quelle: Google Earth. Abgerufen unter: https://earth.google.com/web/@53.12024671,8.47103742,0.18347817a,9156.71669862d,35y,0h,0t,0r/data=CgRCAggBQgIIAEoNCP_____wEQAA

Die Planung der Kolonie Hudermoor begann Mitte des 19. Jahrhunderts. Es wurde vorgegeben: Die Kolonate sollten je eine Fläche von 5,6 Hektar aufweisen. Die Flächen sind in der Abb. 2 als Rechtecke zu erkennen. Wasserzüge und Wege mussten von den Kolonisten in Stand gesetzt und unterhalten werden. Dazu mussten diese mit 1000 Birken bepflanzt werden, die 16 Fuß (ca. 5m) auseinander stehen sollten (1 Fuß entspricht ca. 30 cm). Die Bedingungen waren an das Wohnen in der Kolonie Hudermoor gekoppelt. Die Besiedlung begann ein Jahr nach dem Start der Kultivierung 1850. Der Hausbau in Hudermoor folgte den Einweisungsbedingungen im Zuge der Errichtung der Kolonie. Dazu zählten die folgenden Aspekte zur Anlage der Gebäude als Niedersächsische Fachwerkhäuser.

- Das Haus musste ca. 35 m (116 Fuß) von dem angrenzenden Hauptweg entfernt liegen und mittig auf dem Grundstück erbaut werden mit einer Ausrichtung so, dass die große Dielentür zum Hauptweg zeigt.
- Die Größe war mit einer Grundfläche von 12x15 Metern vorgegeben. Als Materialien waren Steine aus Ziegeleien der Umgebung zu verwenden und Reet aus der Marsch für die Bedachung.
- Die Fertigstellung sollte innerhalb von drei Jahren erfolgen und das Haus einen Wert von mindestens 600 Mark haben.

Durch die einheitliche Ausrichtung der Häuser auf die Wegseite bildeten diese jeweils eine Flucht. Die Vorgabe des Bauzeitraums sollte die Kultivierungsarbeiten beschleunigen. Der vorherrschende Baustil war das Fachwerkhaus im niedersächsischen Stil, auch niederdeutsches Hallenhaus oder Niedersachsenhaus genannt. Wichtig war, dass das Fundament auf Pfählen gegründet war. Die Pfähle standen im Abstand von ca. 70-100 cm und wurden bis in den Sanduntergrund gerammt. Diese Art der Gründung war jedoch nicht vorgeschrieben. Einige Häuser sacken daher bis heute ab.

Der Vorteil der Bauweise als Fachwerkhaus bestand darin, dass es in seine Einzelteile zerlegt werden kann. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, das Haus auf dem festeren Geestboden vorzubereiten und dann in Einzelteilen in das Moor zu transportieren. Dies geschah auf den Moorwegen mit Menschenkraft oder über die Gräben, da die Wege den hohen Lasten anders nicht gewachsen wären.

Um die Produktivität zu optimieren, wurde die Moorversuchsstation Maibusch am Nordrand der Kolonie eingerichtet, an der 15 Jahre lang von 1896 bis 1910 Forschungen zur Moorkultivierung durchgeführt wurden. Dabei konnten Erkenntnisse zu den Themen Entwässerung, Kalkung und



Das Koloniegebiet im Huder und Nordenholzermoor (Gemeindekarte 1902, Reg.Bez. Weser-Ems)

Abb 2 Die regelmäßige Gliederung des Koloniegebiets auf einer Karte aus der Gemeindekarte im Jahr 1902.

Düngung gewonnen werden. Beispielsweise wurden Erträge von Roggen, Hafer, Kartoffeln und die Wirkung verschiedener Kunstdünger erprobt.

Moorsackung

Als Moore gelten nasse Böden mit einer Torfmächtigkeit von mindestens 30 cm. Die Torfmächtigkeit bezieht sich auf die Dicke beziehungsweise die Tiefe der Torfschicht. Moore entwickeln sich auf Flächen mit ganzjähriger Vernässung bis zur Bodenoberfläche. Durch den Sauerstoffmangel werden abgestorbene Pflanzenteile nicht abgebaut und es bildet sich daraus Torf. Abbildung 3 zeigt die Mächtigkeit der Torfschicht im Untergrund der Kolonie Hudermoor.

Durch die Entwässerung zur Ermöglichung landwirtschaftlicher Aktivitäten ändert sich der natürliche Wasserhaushalt und der Luftabschluss ist bei abgesenktem Grundwasserstand nicht mehr gegeben. Der für den Pflanzenbau erforderliche Sauerstoffgehalt im Boden führt deshalb dazu, dass das organische Material mikrobiell abgebaut werden kann, der Boden schrumpft und sich verdichtet. Es kommt zur Absackung des Moors. Neben der Entwässerungstiefe wird die Sackung auch von der Torfmächtigkeit und dessen Zusammensetzung beeinflusst. Einflussfaktoren sind die Torfart und der bereits eingetretene Zersetzungsgrad der Torfe. Moore mit größerer Mächtigkeit sacken stärker. Im Bereich der Kolonie Hudermoor befindet sich ein sehr mächtiger Torfkörper. Dies erklärt die vergleichsweise große jährliche Absackung von einem Zentimeter (Abb. 4), welche auch von den Anwohnern in Hudermoor direkt wahrgenommen wird.

Um die Moorsackung in Hudermoor zu dokumentieren, wurden Höhendaten aus den 1980er Jahren mit denen aus dem Jahr 2021 verglichen. Die Datengrundlage ist dabei die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5000 (DGK 5). Es handelt sich hierbei um ein amtliches topographisches Kartenwerk, das beginnend im Jahr 1936 in dem Gebiet bis 1997 mehrfach aktualisiert wurde und zu Planungszwecken sowie als Grundlage für weitere Karten diente. Die Kartengrundlage enthält unter anderem Höhenlinien und -punkte. Die Höhenlinien werden mit einem aktuellen digitalen Geländemodell des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) verglichen, um die Absackung feststellen zu können. Ein digitales Geländemodell (DGM) beschreibt die Höhe der Erdoberfläche flächendeckend. Das verwendete DGM weist eine Auflösung von einem Meter auf. Das bedeutet, dass die Höhen des Geländes in einem Raster mit 1-Meter-Abständen bestimmt werden konnten.

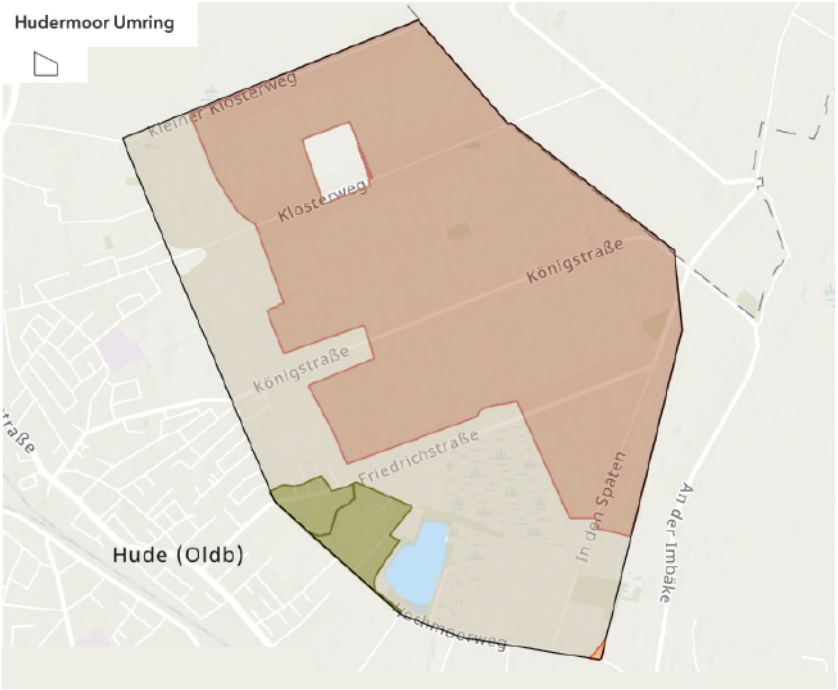


Abb 3 Mächtigkeit der Torfschicht in Hudermoor. Eigene Darstellung nach Daten aus dem niedersächsischen Moorinformationssystem (https://www.mooris-niedersachsen.de/?pgId=150)
Torfmächtigkeiten in der Karte:

- abgetorft
- sehr tief: Torfmächtigkeit → 2 m
- tief: Torfmächtigkeit 80 cm bis 130 cm abgetorft
- flach: Torfmächtigkeit 20 cm bis 30cm
- Torfmächtigkeit nicht bekannt

In der Karte (Abb. 4) ist ein Teil einer 3,5m-Höhenlinie aus der DGK 5 zu sehen, die sich in der Königsstraße 55 befindet. Die Höhenmessungen für die Erstellung der DGK 5 (LGLN o.J. b) stammen aus den 1980er Jahren. Die in dem Diagramm aufgetragenen Geländehöhen (rot-grüne Linie) wurden dem Digitalen Geländemodell (DGM, LGLN o.J. c) von 2021 entnommen. Die Färbung der Höhenlinie in rot und grün basiert auf der amtlich festgestellten Nutzung des Geländes, welche in dem vom LGLN geführten Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS, LGLN a, o.J.) aufgeführt ist. Die Nutzungsartengrenze zwischen den Nutzungen „Siedlung“ und

„Grünland“ wird durch die Grenze der halbtransparenten Färbungen über dem Satellitenbild sichtbar. Die Färbung der Linie soll eine Orientierung für den Vergleich der Höhenlinie in der Karte mit den Geländehöhen aus dem Jahr 2021 bieten. Zusätzlich wurden markante Höhenwerte über die schwarzen Punkte sowohl im Diagramm als auch in der Karte gekennzeichnet (Abb. 4).

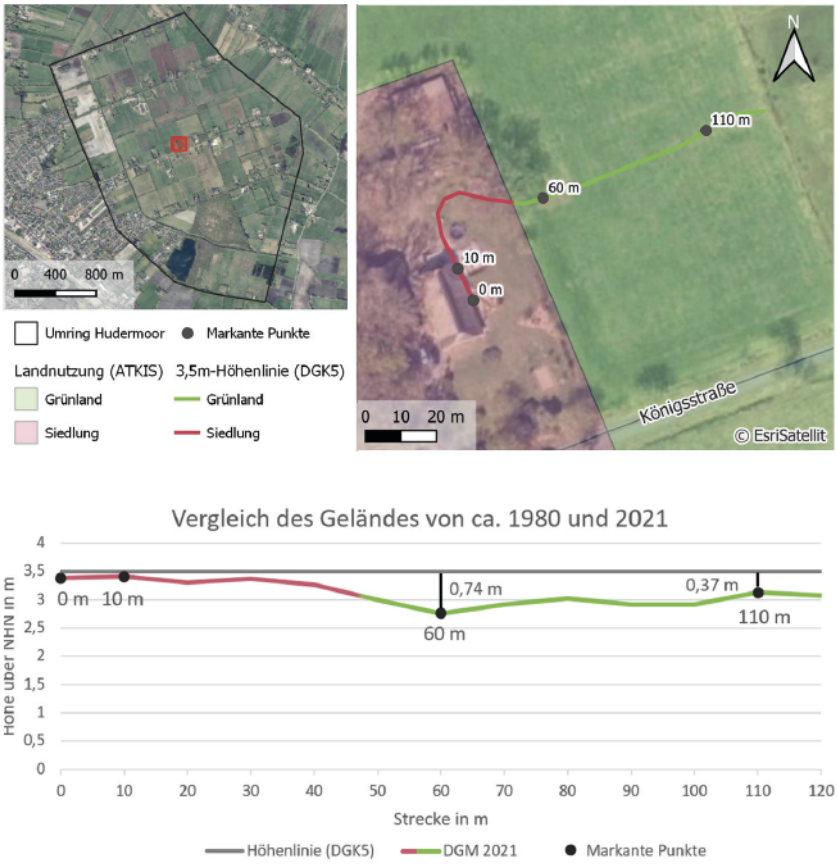


Abb 4 Darstellung der Moorsackung anhand einer Höhenlinie (Stand ca. 1980) und dem Digitalen Geländemodell 2021. Das Transekt befindet sich im zentralen Teil des Geländes, und erstreckt sich zwischen dem Siedlungsbereich und dem Grünland. Es wird deutlich, dass der mikrobielle Torfabbau im Grünland deutlich stärker fortgeschritten ist und die Differenz der Höhenmessungen einen Verlust von mehr als 1 cm pro Jahr im Verlauf der letzten vierzig Jahre ausmacht. Die damit verbundene Freisetzung von CO2 aus dem organischen Material des Bodens ist erheblich.

Dem Datenvergleich ist zu entnehmen, dass das Moor in den letzten 40 Jahren um ca. einen Zentimeter jährlich gesackt ist. Dabei zeigt sich, dass die Absackung im Siedlungsbereich geringer ist als im Grünland. Die beiden Punkte im Grünland (bei 60 m und 110 m) weisen eine Absackung von 74 bzw. 37 cm auf. Im Siedlungsbereich beträgt die Absackung an den beiden Punkten dagegen nur zwölf Zentimeter (Linienabschnitt: Null Meter) und neun Zentimeter (Linienabschnitt: Zehn Meter).

Entwicklung der Landnutzung

In der Abbildung 5 ist die kartografisch festgehaltene Entwicklung der Landnutzung in Hudermoor ab dem Jahr 1900 bis 2023 zusammengestellt. Die Informationen zu den jeweiligen Zeitabschnitten stammen vom Verein „Historische Kulturlandschaften im Oldenburger Land e.V.“. Der Verein führte 2020 einen Workshop durch, in dem Informationen über die Kolonie Hudermoor diskutiert und gesammelt (HKL-OL, o.J.) wurden. Die Digitalisierung der Landnutzungsflächen in den Jahren 1900 – 1997 wurde von Täger 2024 im Rahmen ihrer Bachelorarbeit durchgeführt. Die dabei digitalisierten Flächen wurden angepasst und um die Landnutzung im Jahr 2023 ergänzt.

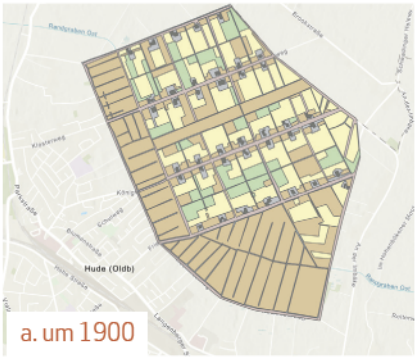
- Um 1900: Ein halbes Jahrhundert nach Beginn der Koloniebesiedlung leben die Anwohner noch hauptsächlich vom Torfstechen und Buchweizenanbau nach dem Abbrennen von Moorflächen. Aufgrund des geringen Einkommens sind viele Kolonisten jedoch auf Nebenerwerb angewiesen. Auf den Grundstücken der Kolonisten befinden sich zu dieser Zeit häufig Torfstich-Gebiete in Hausnähe zur Eigenversorgung mit Torf als Brennstoff. Im südöstlichen Teil der Kolonie sind die Gräben zu erkennen, mit denen das Moor für den Torf-Abbau großflächig entwässert wurde (Abb. 5a).
- Um 1937: Infolge der zunehmenden Verfügbarkeit von Kunstdünger kann die Landwirtschaft in Moorgebieten rentabler gemacht werden. Zudem wird zur damaligen Zeit von der NSDAP zur sogenannten „Erzeugungsschlacht“ aufgerufen. Bauern werden dazu angeregt, intensiver und effizienter Landwirtschaft zu betreiben. Dies sorgt für eine Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzung in Hudermoor (Abb. 5b).
- 1956: In dieser Zeit nutzen die Anwohner ihren Grund hauptsächlich zum Anbau von Nahrungsmitteln für den Eigenbedarf. Die Anzahl an Äckern geht zurück. Grünland wird teilweise zur Viehhaltung genutzt (Abb. 5c).

- 1966: Mehr Äcker und Moorflächen werden in Grünland umgewandelt. Die Bewohner beginnen mit dem Einsatz von Traktoren und schweren Ackergeräten. Auf dem weichen Moorboden können die Maschinen jedoch nicht effizient eingesetzt werden. Die landwirtschaftlichen Betriebe stellen zunehmend auf Milch- und Weidewirtschaft um (Abb. 5d).
- 1997: Aufgrund der EU-Subventionen für die Milchwirtschaft wird der Großteil aller Ackerflächen zu Grünland für die Viehhaltung umgenutzt. Zudem führt der landwirtschaftliche Strukturwandel ab den 1960er Jahren vermehrt zur Aufgabe von kleinen Hofbetrieben und den bewirtschafteten Feldern. Durch die Sandentnahme im Südosten der Kolonie Hudermoor entsteht eine neue Seefläche. Dieser See und das angrenzende Moorgebiet werden 1998 zum Naturschutzgebiet deklariert (Abb. 5e).
- 2023: Heute dominiert in weiten Teilen die Grünland-Nutzung. Viele der traditionellen Höfe wurden zu Landsitzen und es existiert nur noch ein Vollerwerbsbetrieb (Abb. 5f).

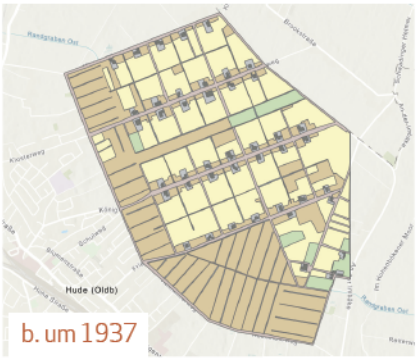


Abb 5 Veränderungen der Landnutzung im Laufe der Zeit. Während zu Beginn der Kolonisierung noch die Moor-Nutzung und eine Etablierung von Ackernutzungen mit anschließender Intensivierung des Anbaus im Vordergrund stand, erfolgte nach dem zweiten Weltkrieg eine zunehmende Umstellung auf Grünlandnutzung. Mittlerweile steht die residentielle Nutzung im Vordergrund.

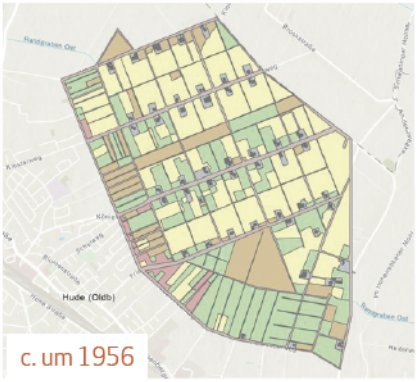
a: Landnutzung um 1900 (Preußische Landesaufnahme von 1900)
b: Landnutzung um 1937 (Topographische Karte (TK50) von 1937)
c: Landnutzung um 1956 (Topographische Karte (TK50) von 1956)
d: Landnutzung um 1966 (Topographische Karte (TK50) von 1966)
e: Landnutzung um 1997 (Landschaftsrahmenplan von 1997)
f: Landnutzung um 2023 (Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen.)



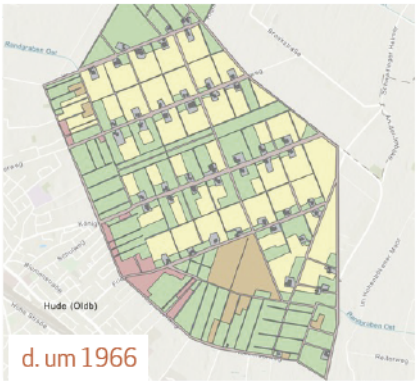
a. um 1900



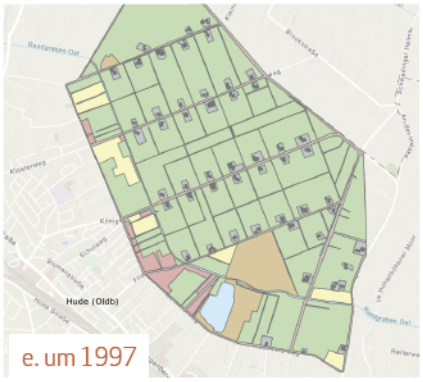
b. um 1937



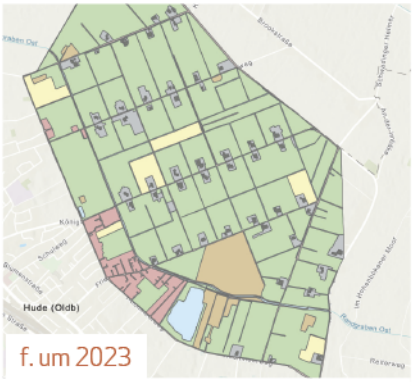
c. um 1956



d. um 1966



e. um 1997



f. um 2023

Ausblick

Weitere Karten- und Datengrundlagen sind im Moor-Informationssystem (LBEG o.J.) enthalten und werden über den NIBIS Kartenserver bereitgestellt (https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=).

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel und den Veränderungen in der wirtschaftlichen Situation der Landwirtschaft ist zu erwarten, dass auch in der Zukunft weiterhin Umgestaltungen der Landnutzung stattfinden. Nachdem in der Kolonie nur noch ein aktiver Haupterwerbsbetrieb vorhanden ist, stellen sich auch grundlegend neue Fragen. Wiedervernässung von Moor-Standorten ist eines der in Niedersachsen und darüber hinaus intensiv diskutierten Themen (Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz 2014, BMUV 2022, Landkreis Osterholz 2023). Nutzungen, die auch auf Feuchtgebietsstandorten möglich sind (Paludikulturen), sind überwiegend noch nicht so einträglich, dass sie wirtschaftlich tragfähige Alternativen darstellen (Wichtmann und Joosten 2007, https://paludikultur-niedersachsen.de/). Erste praxisreife Ansätze ermöglichen aber eine kombinierte Nutzung als Standort für energetische Nutzungen durch Photovoltaik (https://wattmanufactur.de/moor-pv.html).

Literatur und Datenquellen

BMUV 2022 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Nationale Moorschutzstrategie Kabinettsbeschluss vom 9. November 2022. https://www.bundesumweltministerium.de/download/nationale-moorschutzstrategie-kabinettsbeschluss
https://www.bundesumweltministerium.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/nationale_moorschutzstrategie_bf.pdf (75 S.)

HKL-OL, o.J., Historische Kulturlandschaften im Oldenburg Land e.V.: Colonie Hudermoor. https://hkl-ol.de (Abgerufen am: 03.01.2024).
https://hkl-ol.de/wp-content/uploads/2022/08/karten2_converted-scaled.jpg, abgerufen am 29.8.25

JanßenL, SandersP, SauerbierV: 2024: Hudermoor. Eine digitale Erkundungstour durch die Kolonie und ihre Landschaft. https://storymaps.arcgis.com/stories/d9e192ba637a48fbbd25e97744b595e9

Janzen D 1994: Nordenholzermoor. Geschichte eines Moordorfes. Isensee Verlag, Oldenburg, ISBN 3-89442-229-7.

Landkreis Osterholz 2023: „MOORwärts – Moorgipfel Osterholz“: Gemeinsam den Herausforderungen des Moorschutzes begegnen.
https://www.energiewende-osterholz.de/portal/seiten/-moorwaerts-moorgipfel-osterholz-gemeinsam-den-herausforderungen-des-moorschutzes-begegnen-901004118-21000.html

LBEG o.J. (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie des Landes Niedersachsen) und NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz): MoorIS Ein Moorinformationssystem für Niedersachsen. Zentrale Informationen zu den niedersächsischen Mooren. https://www.mooris-niedersachsen.de/?pgId=150

LGLN a. o.J.: Topographische Geodaten aus ATKIS https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/topographische_geodaten_aus_atkis/topographische-geodaten-aus-atkis-144142.html (abgerufen am 29.8.25)

LGLN b. o.J.: Historische Karten.
https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/historische_karten/ (abgerufen am 29.8.25)

LGLN c. o.J. Digitale Geländemodelle (DGM).
https://www.lgln.niedersachsen.de/download/126465/Flyer_Digitale_Gelaendemodelle_DGM_.pdf (abgerufen am 29.8.25)

NIBIS Kartenserver. https://nibis.lbeg.de/cardomap3/?TH=

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz 2014 Programm Niedersächsische Moorlandschaften Grundlagen, Ziele, Umsetzung.
https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/moorschutz/niedersachsische-moorlandschaften-116261.html../
https://www.umwelt.niedersachsen.de/download/88926/Niedersaechsische_Moorlandschaften_Juli_2014_.pdf

Täger N 2024: Analyse der Siedlungsstruktur und -entwicklung der Kolonie Hudermoor unter Einbeziehung historischer Daten und naturschutzfachlicher Aspekte. Bachelorarbeit. Jade Hochschule, Abt. Geoinformation.

Wichtmann, W. & Joosten, H. (2007): Paludiculture: peat formation and renewable resources from rewetted peatlands. IMCG Newsletter 2007/3: 24-28.

Transformation Dynamics

Virtuelle Rekonstruktion der Ruine der Klosterkirche in Hude mit Hilfe von Augmented Reality

Timo Breilmann [(1)], André Brouer [(1)], Roland Pesch [(1,2)], Ingrid Jaquemotte [(1)]

(1) Jade Hochschule Wilhelmshaven/Oldenburg/Elsfleth, Abteilung Geoinformation, 26121 Oldenburg
(2) Korrespondierender Autor: roland.pesch@jade-hs.de

Abstract

Immersive Technologien haben das Potenzial, kulturelles Erbe für die breite Öffentlichkeit erlebbar zu machen. Diese Technologien können die herkömmlichen Mittel, wie Museen, Ausstellungen oder Bücher ergänzen und erweitern und damit einen verbesserten Eindruck von Entwicklungen und Veränderungen geben, aus denen die heutige materielle und kulturelle Umwelt hervorgegangen ist. Vor allem Augmented Reality (AR) wird zunehmend eingesetzt, um Entwicklungen und Veränderungen anschaulich zu machen. Es wird hier die Entwicklung einer Applikation für Smartphones vorgestellt, die es mit Hilfe von AR ermöglicht, Inhalte zur Ruine der Klosterkirche in Hude zu erkunden. Das Klosterareal liegt im Landkreis Oldenburg zwischen Oldenburg und Bremen. Die Kirche wurde im 12. und 13. Jahrhundert in Stil der frühen Backsteingotik errichtet. Sie wurde im 16. Jahrhundert aufgehoben und lange Zeit danach von den umliegenden Dörfern als Steinbruch genutzt. Die bis heute verbliebenen Mauerreste sind ein bedeutendes Kulturdenkmal und Gegenstand von Modellierungen, die den Ursprungszustand des Bauwerks veranschaulichen sollen. AR-Techniken können einen nützlichen Beitrag dazu leisten. Dazu wird eine neu entwickelte Applikation beschrieben und Hintergrundinformationen zur Erstellung gegeben sowie das Datenmaterial und die eingesetzten Methoden vorgestellt. Ergebnisse der virtuellen Modell-Rekonstruktion werden präsentiert und interpretiert. Abschließend wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick gegeben.

Schlüsselworte:

Hude, Klosterkirche, Ruine, virtuelle Rekonstruktion, Augmented Reality

Zitation:

Breilmann, T., Brouer, A., Pesch, R., Jaquemotte, I.: Virtuelle Rekonstruktion der Ruine der Klosterkirche in Hude mit Hilfe von Augmented Reality. Transformation Dynamics 2025, 2, 5. (S. 95-114). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einleitung

Die zunehmende Verbreitung von Smartphones und ihre Integration in den Alltag haben in den letzten Jahren eine breitere Anwendung von Augmented-Reality-Technologien (AR) ermöglicht. Diese Entwicklung hat dazu beigetragen, dass AR-Anwendungen leichter zugänglich sind, da praktisch jeder über die erforderliche Hardware verfügt, um von den Möglichkeiten dieser Technologie zu profitieren. Die AR-Technologie eröffnet innovative Wege, Inhalte für Lernende erlebbar zu machen, indem virtuelle Elemente nahtlos in die reale Welt integriert werden. Die Kombination von realer und digitaler Welt durch AR bietet nicht nur neue Perspektiven für Bildung und Kulturerhaltung, sondern liefert auch Möglichkeiten für immersive Erfahrungen und interaktives Lernen. Umweltveränderungen und kulturelle Entwicklungen lassen sich so in einer besonders gut zugänglichen Weise darstellen, indem der reale visuelle Eindruck durch Einblendung zusätzlicher virtueller Elemente ergänzt oder verändert wird. So können durch die Nutzung von AR historische Informationen und kulturelles Erbe auf eine dynamische und ansprechende Weise präsentiert werden. Die Ruine der Klosterkirche in Hude, für welche im Rahmen dieser Arbeit eine AR-Applikation entwickelt wurde, dient als Beispiel für die Anwendung dieser Technologie.

Die Ruine der Klosterkirche Hude, das Objekt der Rekonstruktion

Das Objekt, welches innerhalb dieser Arbeit virtuell rekonstruiert und mit Hilfe von AR zugänglich gemacht wird, ist die Ruine der Klosterkirche in Hude (Abbildung 1). Das Areal liegt in der Gemeinde Hude (Landkreis Oldenburg) im Nordwesten von Niedersachsen zwischen Bremen und Oldenburg. Erbaut wurde das Zisterzienserkloster von dem Jahr 1232 bis etwa 1300 im Stil der frühen Backsteingotik. Die ehemalige Torkapelle des Klosters „Portus Sancte Marie“ ist heute als evangelisch-lutherische St Elisabeth-Kirche in Benutzung. Die Klosterkirche wurde 1536 aufgelöst und diente anschließend als Steinbruch für die umliegenden Dörfer. Die Besonderheit des Baumaterials wurde schon damals sehr gut beherrscht; die hohe Qualität der Verarbeitung zeigt sich an den figürlichen Details und der Verwendung von glasierten Backsteinen (Denkmalatlas Niedersachsen 2024). Das Mittelschiff der Klosterkirche von Ostmauer zur Westmauer war 57,57 Meter lang, 24,95 Meter breit und das Querschiff war 28,20 Meter lang (Sello 1843).



Abb 5 Ruine der Klosterkirche in Hude (Ansicht aus Südwesten).

Ziel der virtuellen Rekonstruktion

Ziel des Projekts ist es, eine Applikation (App) zu erstellen und damit das kulturelle Erbe der Region Hude auf digitale Weise für eine breite Öffentlichkeit leicht zugänglich zu machen. Bislang können Informationen über das Kloster und die Region größtenteils über herkömmliche Mittel wie Bücher, Internetseiten oder das Museum in Hude bezogen werden, sodass eine App eine dauerhafte Verfügbarkeit der Informationen sowie einen Blick auf die Ruinen und die damalige Klosterkirche bieten kann. Zusätzlich strebt die App an, verschiedene Altersgruppen durch eine interaktive Erfahrung mittels AR-Funktion anzusprechen und ihr Interesse an der regionalen Geschichte zu fördern. Durch die Verbindung von Informationen zum Kloster und der Colonie Hudermoor in der Applikation soll ein umfangreicher Wissensschatz über die lokale Historie in einer interaktiven Anwendung vermittelt werden. Nutzende der Applikation sollen animiert werden, nicht nur digital in der App mehr über das Kulturerbe der Region herauszufinden, sondern sich auch selbst weiterführend zu informieren, z. B. über einen Besuch im Museum Kloster Hude.

AR-Technologien im Bildungskontext: Erhaltung und Vermittlung von Kulturerbe, Erfahrung von Entwicklungen und Veränderungen

In der aktuellen Forschung spiegeln zahlreiche Projekte das Bestreben wider, kulturelles Erbe digital zu rekonstruieren und damit interaktiv erlebbar zu machen. Interessante Beispiele hierzu sind Castagnetti et al. (2017) mit ihrem umfassenden Ansatz, bei welchem sphärische Fotos, Laserscans und historische Daten genutzt wurden, um immersive virtuelle Erlebnisse römischer Stätten in der Toskana zu schaffen. Longo et al. (2017) erforschten das Potenzial von Intelligent Serious Games (ISGs) in Museumszusammenhängen, indem sie Bildungsinhalte mit interaktiven Spielelementen verbanden, um Besuchererlebnisse zu personalisieren und eine tiefere Auseinandersetzung mit kulturellen Inhalten zu fördern. Madsen und Madsen (2015) entwickelten Installationen für Schlossmuseen, die überzeugende 3D-Repräsentationen historischer Stätten auf Handheld-Tablets und immersiven Großbildschirmen boten. Okanovic et al. (2022) betonten das Potenzial, Benutzende durch fesselnde Geschichtenerzählung und interaktive Erlebnisse zu begeistern und damit Bildungs-erfahrungen zu bereichern. Diese Projekte verdeutlichen gemeinsam die vielfältigen Methoden und Technologien, die verwendet werden, um kulturelles Erbe im digitalen Zeitalter zu bewahren, zu interpretieren und zu vermitteln.

Im Rahmen einer Metaanalyse ergaben Untersuchungen, dass primär in naturwissenschaftlichen und künstlerischen Museen auf AR- und VR-Technologien zurückgegriffen wird, um in erster Linie deklaratives Wissen zu vermitteln. Diese Technologien werden häufig verwendet, um zusätzliche Informationen auf physische Ausstellungsstücke zu projizieren, um in der Regel unsichtbare Phänomene oder Konzepte dynamisch zu visualisieren. Die Möglichkeit, dass Besuchende einer Ausstellung mittels AR- oder VR-Anwendung virtuelle Objekte manipulieren oder generieren können, wurde bislang nur in vereinzelnden Studien untersucht. Eine Metaanalyse zeigt, dass AR- und VR-Anwendungen einen positiven Einfluss auf den akademischen Erfolg von Lernenden und auf die Lernerfahrung haben (Zhou et al. 2022).

Material und Methoden

Bei der Vorstellung vergleichbarer Vorhaben für Anwenderinnen und Anwender wird meist nur das fertige Produkt vorgestellt. Wir geben hier einen Einblick in die zugrundeliegenden Entwicklungsschritte und Programme, die verwendet wurden.

Software

Die im Rahmen unseres Projekts erstellte Anwendung wird innerhalb des Unity 3D game engine environment (unity3d.com) entwickelt, welches kostenlos genutzt werden kann. Zusätzlich ist die Verwendung der Plattform Vuforia von der Firma PTC notwendig, wodurch AR-Anwendungen für mobile Endgeräte realisiert werden. Bei der Wahl der Entwicklungssoftware wurde auf Unity zurückgegriffen, da es aufgrund der Features, einer einfach zu bedienenden Benutzeroberfläche sowie umfangreichen Anleitungen einen schnelleren Einstieg für Anfänger gegenüber der ebenfalls beliebten Spiele-Entwicklungssoftware Unreal Engine bietet (AL LAWATI 2020: 5). Außerdem wurden Unity und Vuforia genutzt, da diese in vorherigen studentischen Projekten zum Einsatz kamen und danit Anwendungserfahrungen zugänglich waren. Für die Datenaufbereitung der 3D-Modelle wird die kostenlose Grafiksoftware Blender (blender.org) verwendet. Weiterhin werden die Softwares MeshLab (meshlab.net) und Instant Meshes (github.com/wjakob/instant-meshes) eingesetzt. Inkscape findet Anwendung beim Erstellen einer Merkmalskarte für die AR-Anwendung der Applikation.

Datengrundlage und -aufbereitung

In der Applikationsentwicklung werden verschiedene Arten von texturierten 3D-Modellen verwendet. Die Modelle unterscheiden sich: einige veranschaulichen den aktuellen Zustand der Klosterkirchenruine, andere versuchen eine Rekonstruktion der historischen Situation des ursprünglichen Gebäudes. Zur Aufnahme der aktuellen Ruinen kamen unterschiedliche Erfassungsmethoden zum Einsatz. Die genutzten 3D-Modelle sowie deren Erfassungs- bzw. Modellierungsmethode sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab 1 Verwendete 3D-Modelle in der AR-Anwendung.

3D-Modell	Erfassungs- / Modellierungsmethode
Klosterkirche Hude	Historische Rekonstruktion (erstellt durch die Jade Hochschule aus dem Jahr 2007)
Erster Teil der Klosterkirchenruine	Structure from Motion (Schleifer et al. 2017)
Zweiter Teil der Klosterkirchenruine	Aufnahme mit Laserscanner Zoller+Fröhlich 5010X mit Farbinformationen (Buchhage et al. 2017)

Um eine ansprechende Visualisierung innerhalb der AR-Anwendung zu gewährleisten, werden die o. g. Modelle vor der Implementierung in die AR-Anwendung noch weiter vorverarbeitet.

Die Texturen des Modells der Klosterkirche Hude bestanden aus veralteten Rastergrafiken. Das komplexe Verhalten von Licht auf verschiedenen Materialien kann durch physikbasiertes Rendering (PBR) realistisch dargestellt werden (Kumar 2020: 27). Für das Modell der Klosterkirche werden passende PBR-Texturen von Poly Haven (polyhaven.com), einer öffentlichen Bibliothek für 3D-Assets, bezogen. Nachdem in Blender mittels UV-Unwrapping eine zweidimensionale Projektion für das 3D-Modell generiert wird, können die entsprechenden PBR-Texturen (Ziegelsteine, Dachziegel, Holz etc.) für die einzelnen Teile der Klosterkirche zugewiesen werden. Die Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt des 3D-Modells der Klosterkirche vor und nach der Aufbereitung.

Das 3D-Modell des ersten Teiles der Klosterkirchenruine basiert auf einer photogrammetrischen Aufnahme. Hier liegt bereits ein Mesh vor, welches mit dem Structure-from-Motion-Verfahren generiert wurde (Tabelle 1). Dieses Mesh besteht aus etwa 1,8 Millionen Polygonen (Abbildung 3

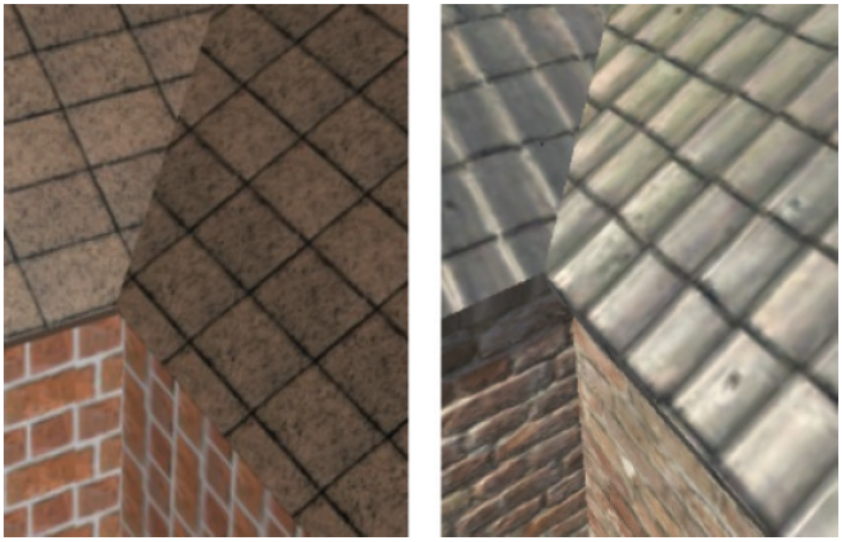


Abb 2 Veraltete Texturen (links) und PBR-Texturen (rechts) des 3D-Modells der Klosterkirche Hude.

oben). Um eine reibungslose Performance in der AR-Anwendung zu erzielen, ist es von Vorteil, Low-Poly-Modelle mit hochaufgelösten Texturen zu nutzen (Kumar 2020: 42). Das High-Poly-Mesh wird zu diesem Zweck zunächst mit der Software Instant Meshes reduziert. Dabei wird die Anzahl der Polygone um ~94% auf etwa 96000 Polygone verringert. In diesem Schritt wird auch das Orientierungsfeld der Polygone des Meshs ausgerichtet, um die weitere Verarbeitung des Modells zu vereinfachen. Das resultierende Low-Poly-Modell kann dann in Blender mittels Texture Baking die hochqualitativen Details des High-Poly-Modells erhalten. In Abbildung 3 ist das ursprüngliche High-Poly-Modell und das reduzierte Low-Poly-Modell zu erkennen. Es werden zudem Löcher im Mesh geschlossen und fehlerhafte Texturen korrigiert.

Grundlage für das 3D-Modell des zweiten Teils der Klosterkirchenruine ist die Punktwolke eines terrestrischen Laserscanners (Tabelle 1). Die Punktwolke wird in MeshLab geladen und zunächst auf den relevanten Teil der Klosterkirchenruine zugeschnitten. Aus Performancegründen wird die aus ca. 76 Millionen Punkten bestehende Punktwolke für die weitere Verarbeitung auf etwa 12 Millionen Punkte simplifiziert. Anschließend wird mittels Poisson Surface Reconstruction ein Mesh erstellt.

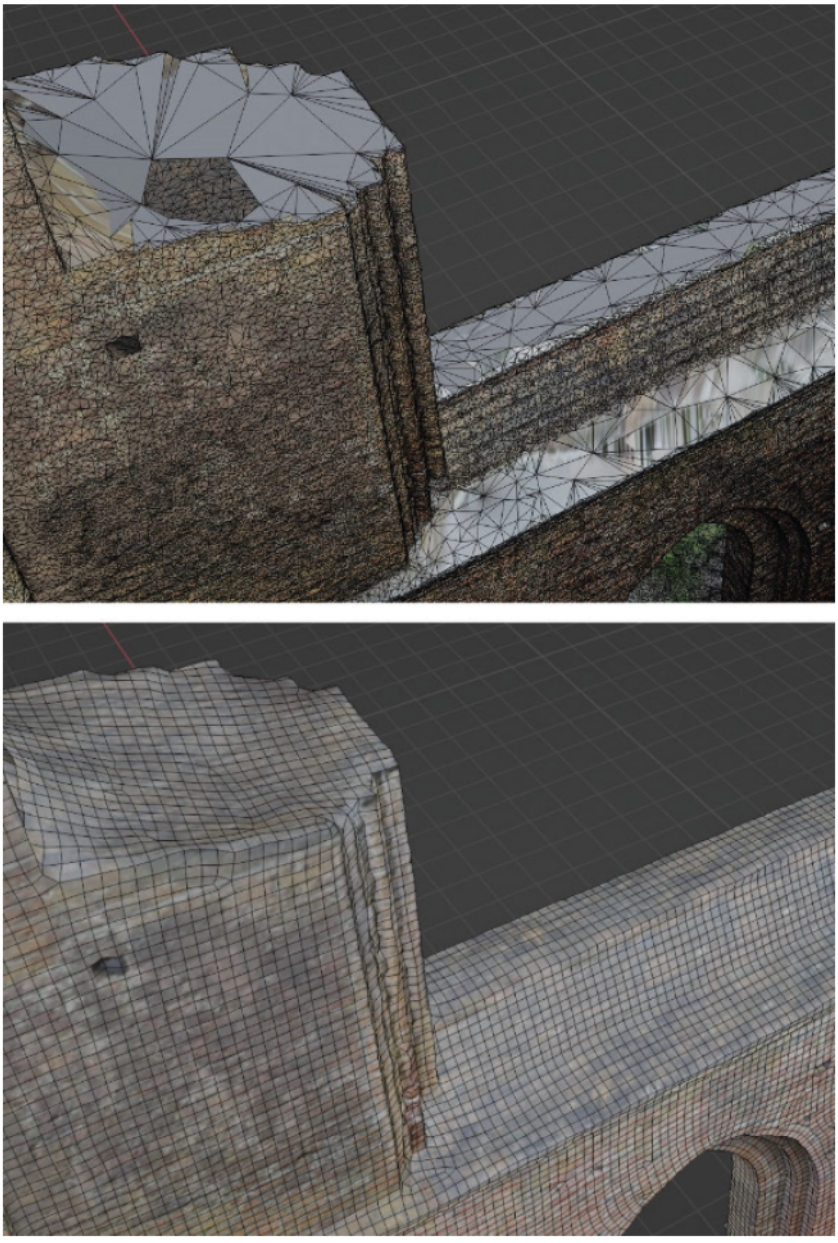


Abb 3 High-Poly-Modell (oben) und aufbereitetes Low-Poly-Modell (unten) für den ersten Teil der Klosterkirchenruine.

Dieses Mesh kann dann mit den Farbattributen der hochauflösenden Punktwolke texturiert werden. Auch bei diesem Teil der Ruine wird die Software Instant Meshes eingesetzt, um die Anzahl der Polygone des Meshes für eine bessere Performance der AR-Anwendung um ca. 75% auf ~18000 zu reduzieren. Zusätzlich wird das Orientierungsfeld der Polygone des Meshs ausgerichtet, um die weitere Prozessierung des Modells einfacher zu gestalten. Das resultierende Low-Poly-Modell erhält in Blender mittels Texture Baking die hochqualitativen Details des High-Poly-Modells. Anschließend wird das Modell weiter verfeinert, indem Löcher im Mesh geschlossen und Bereiche mit fehlerhaften Texturen und Oberflächenformen (z. B. durch störende Vegetation bei der Aufnahme) bestmöglich korrigiert werden. Die Abbildung 4 zeigt die auf die Ruine zugeschnittene Punktwolke des Laserscans und das daraus resultierende 3D-Modell.

Entwicklung der Applikation

Für die Entwicklung der Applikation wird zuerst innerhalb der Spieleentwicklungssoftware Unity eine Canvas erstellt, welche den sichtbaren Bildschirmbereich repräsentiert und somit die Begrenzung für die Benutzeroberfläche darstellt. In diesem Rechteck können anschließend Textfelder, Buttons und Bildelemente hinzugefügt werden.

Für die Steuerung der Benutzeroberfläche werden C#-Skripte geschrieben, in denen für jeden Button eine passende Funktion definiert ist. Beim Öffnen der App sorgt die Programmierung dafür, dass lediglich das Fenster der Startseite aktiv geschaltet ist und die anderen Seiten somit nicht sichtbar sind. Betätigt der Nutzende einen Button, wird die zugeordnete Funktion ausgeführt, wodurch die gewünschte Seite sichtbar und somit ebenfalls nutzbar wird. Ebenfalls befindet sich in jedem Fenster (ausgenommen der Startseite) ein Pfeil in der rechten oberen Ecke, welcher ebenfalls einen Button mit passender Funktion darstellt. Dieser aktiviert die vorherige anstatt der aktuellen Seite, sodass der Nutzende zur Seite davor zurückkehren kann.

Für den internen Aufruf von Websites in der Applikation müssen passende Skripte und Plug-ins heruntergeladen und in dem Unity-Projekt importiert werden. Anschließend wird einem Button die passende Funktion untergeordnet und der Link zur Webseite hinzugefügt.

Um die AR-Funktionalitäten in die Anwendung zu integrieren, muss in Unity das Plug-in Vuforia installiert werden. Zusätzlich ist ein Developer Account im Vuforia Engine Developer Portal notwendig. In diesem Por-

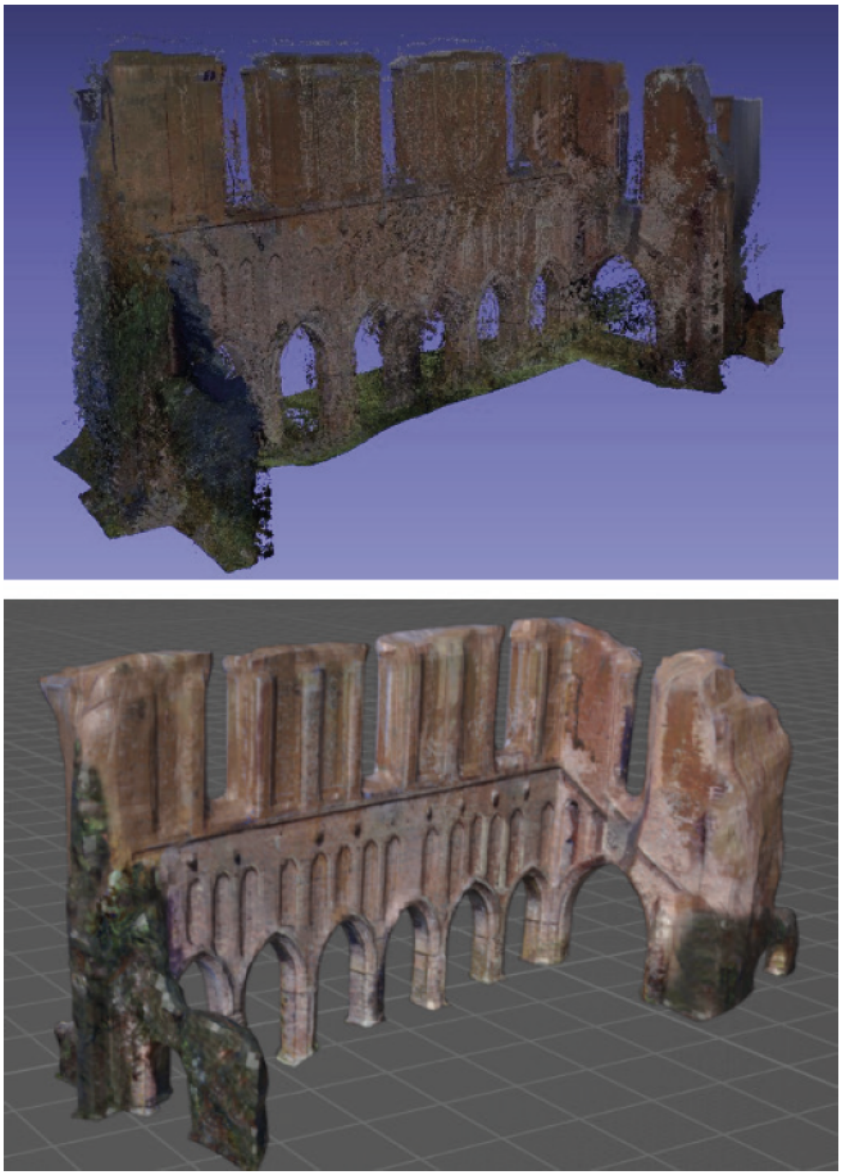


Abb 4 Punktwolke des Laserscans des zweiten Teils der Klosterkirchenruine (oben) und darauf basierendes 3D-Modell (unten).

tal kann eine Merkmalskarte hochgeladen werden, die anschließend als Unitypackage exportiert und in das Unityprojekt importiert werden kann. Für die AR-Anwendung wird eine Merkmalskarte in der Software Inkscape entworfen, die in Abbildung 5 betrachtet werden kann. Über den abgebildeten QR-Code kann ab März 2024 eine Early-Access Version der Applikation im Google PlayStore heruntergeladen werden.

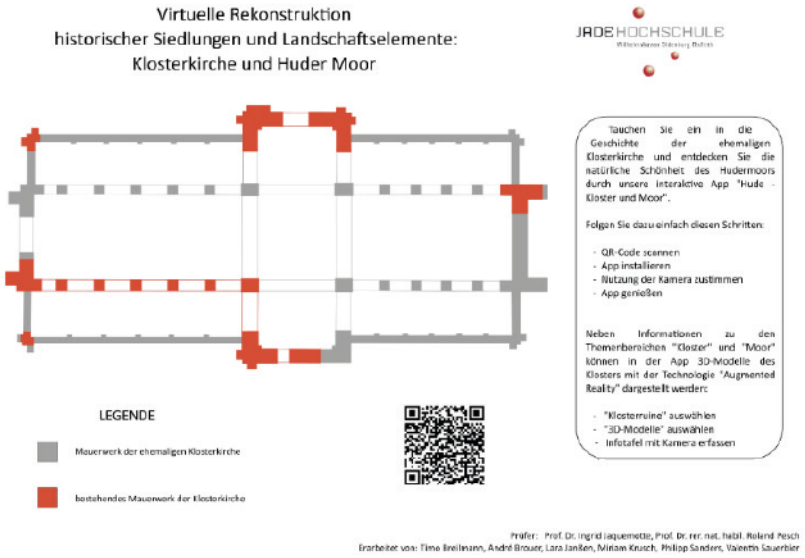


Abb 5 Merkmalskarte der AR-Anwendung.

Die aufbereiteten 3D-Modelle von der rekonstruierten Klosterkirche sowie von den heutigen Ruinen werden in Unity passend auf dem Grundriss der Merkmalskarte platziert. Anschließend werden die 3D-Modelle der Merkmalskarte zugeordnet. Durch eine Funktion wird dann definiert, dass beim Anklicken des Buttons „3D-Modelle“ die Rekonstruktion der Klosterkirche sichtbar ist und durch „Wechsel zum Ruinen-Modell“ lediglich der aktuelle Stand der Klosterkirche angezeigt wird.

Die AR-Anwendung wird zusätzlich dynamisch und ansprechender gestaltet, indem Animationen von Pfauen integriert werden (Abbildungen 9, 10, 11). Das Pfauenmodell und die entsprechenden Animationen werden aus dem Unity Asset Store bezogen. Es erfolgt eine Programmierung, sodass sie auf der Merkmalskarte der AR-Anwendung umherlaufen und ver-

schiedene Verhaltensweisen ausführen. Dafür wird ein NavMesh auf der Merkmalskarte angelegt und ein C#-Skript entwickelt, das eine Routine für die Pfauen definiert. In dieser bewegen sich die Tiere einige Schritte vorwärts, führen dann zufällige Animationen aus (Aufspannen der Federn, Umherschauen, Picken auf dem Boden) und rotieren dabei zufällig, um ein realistisches Verhalten zu simulieren. Anschließend setzen die Pfauen ihren Weg fort, indem sie erneut einige Schritte zurücklegen. Um sicherzustellen, dass sich die Pfauen innerhalb des festgelegten Bereichs bewegen und nicht außerhalb der Merkmalskarte der AR-Anwendung oder ins Innere der Ruinen gelangen, wird das NavMesh entsprechend eingegrenzt.

Ergebnisse

Aufbau der Benutzeroberfläche

Der Aufbau der Benutzeroberfläche der entwickelten Applikation wird in der Abbildung 6 dargestellt. Eine Ansicht der Startseite der Applikation findet sich in Abbildung 7. Auf der Startseite der Applikation sind Textfelder für Überschrift und Einführungstext, Button- sowie Bildelemente implementiert. Zusätzlich wird ein kleineres, leicht transparentes Rechteck mit abgerundeten Ecken eingefügt, welches die notwendigen Informationen und Buttons enthält. Einige weitere Bildschirmaufnahmen aus der Applikation sind im Anhang 1 bis 4 aufgeführt.

Auf der Seite „Download“ der App kann über einen Button auf eine Cloud zugegriffen werden, die die Merkmalskarte für die AR-Anwendung enthält. Zudem kann auf der Startseite über einen entsprechenden Button das Impressum und die Datenschutzerklärung in einem neuen Fenster aufgerufen werden. Beim Anklicken von „Hudermoor“ oder „Ruine der Klosterkirche“ auf der Startseite ändert sich der Hintergrund passend zum Thema in einen Grün- bzw. Braunton.

Im Fenster Hudermoor (siehe Anhang 1) kann eine Webseite aufgerufen werden, die umfangreiche Informationen in Form von Texten, Bildern und Karten enthält und sich StoryMap nennt (siehe Janßen et al., in diesem Band). Diese kann entweder direkt in der App als Popup-Fenster oder extern im Internetbrowser des mobilen Geräts geöffnet werden. Die Anwendung ist insgesamt für den Gebrauch im Querformat programmiert, sodass die StoryMap des Hudermoores bei Nutzung in der App ebenfalls diese Ausrichtung aufweist. Da die Seite jedoch für ein Smartphone im Hochformat ausgerichtet ist, gestaltet sich eine externe Öffnung der Webseite als sinnvoller aufgrund einer besseren Übersichtlichkeit.

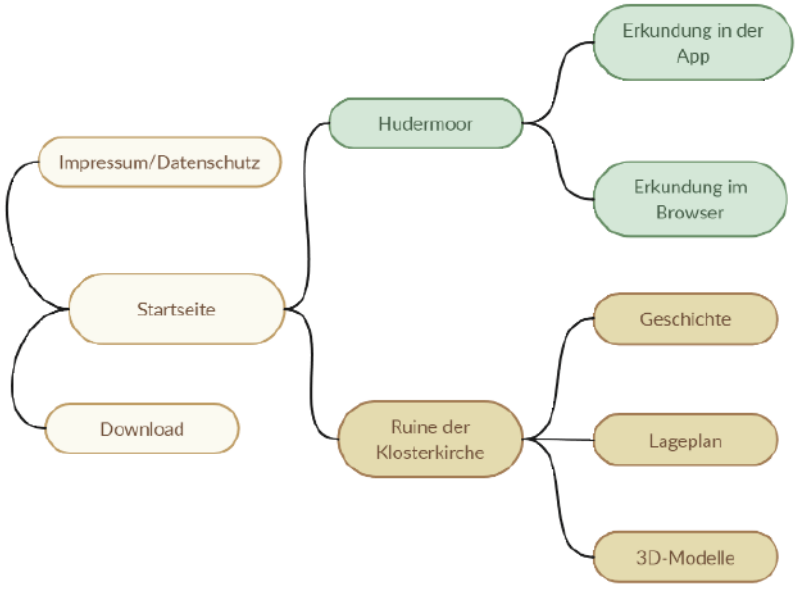


Abb 6 Schematischer Aufbau der Applikation.

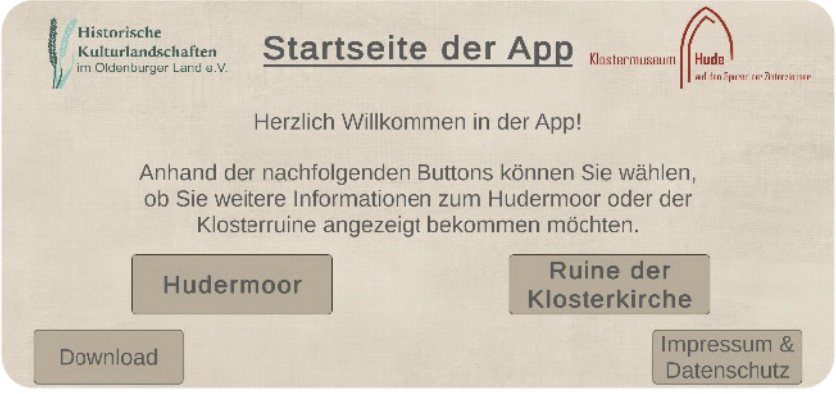


Abb 7 Startseite der Applikation.

Auf der Geschichtsseite der Klosterkirche (siehe Abbildung 8, oder Anhang 3) werden Epochen in einem Zeitstrahl dargestellt. Dabei handelt es sich um Text-Button-Elemente, welche angeklickt werden können und dadurch weitere Informationen anzeigen. Bei umfangreicheren Stichpunkten kann der Textblock gescrollt werden.

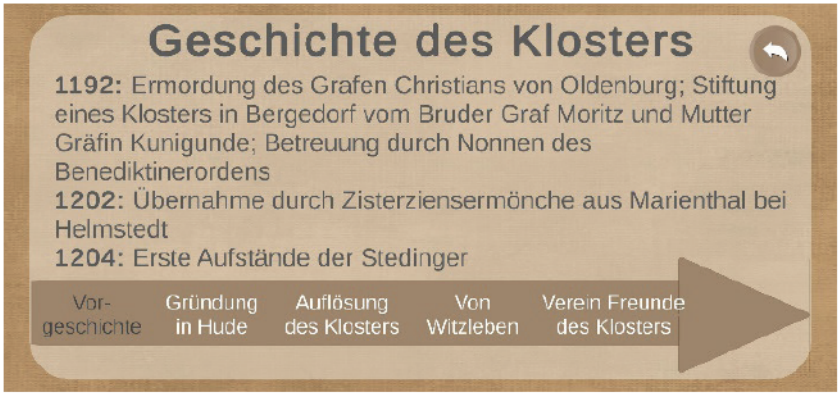


Abb 8 Geschichtsseite mit Zeitstrahl.

Die Lageplan-Benutzeroberfläche (siehe Anhang 4) ermöglicht die Interaktion mit verschiedenen Buttons, die Zahlen von eins bis achtzehn aufweisen und beim Betätigen passende Beschreibungen der Karte anzeigen. Schließlich kann über den Button „3D-Modelle“ die AR-Funktionalität aufgerufen werden, die im folgenden Kapitel näher beschrieben wird.

AR-Anwendung

Die AR-Anwendung kann über den Button „3D-Modelle“ aufgerufen werden. Die Merkmalskarte wird detektiert, sofern die Smartphonekamera diese ausreichend erfasst. Nach der erfolgreichen Detektion wird das 3D-Modell der rekonstruierten Klosterkirche lagerichtig auf dem Grundriss auf der Merkmalskarte visualisiert. Durch das Anklicken des Buttons „Wechsel zum Ruinen-Modell“ bzw. „Wechsel zur Rekonstruktion“ kann zwischen den beiden Alternativen gewechselt werden, (siehe Abbildung 9/10 und 11).



Abb 9 Rekonstruktion der Klosterkirche mittels AR dargestellt (Längsseite).

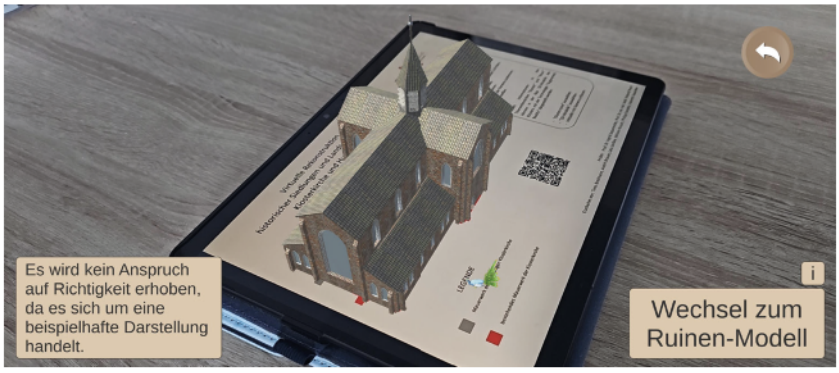


Abb 10 Rekonstruktion der Klosterkirche mittels AR dargestellt (Schmalseite).

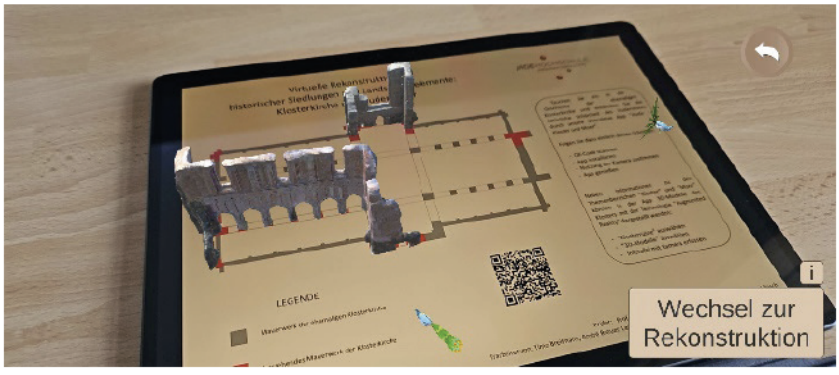


Abb 11 Ruine der Klosterkirche mittels AR dargestellt.

Die 3D-Modelle können mittels markerbasierten Trackings auch nach einer Veränderung des Kamerastandpunktes oder des Blickwinkels weiterhin korrekt positioniert werden, solange die Merkmalskarte von der Kamera erfasst wird.

Diskussion

Die AR-Anwendung ermöglicht eine interaktive Erkundung der Klosterkirchenruine und der rekonstruierten Klosterkirche, wobei Nutzender durch einen Button in der Anwendung zwischen verschiedenen Ansichten hin- und herschalten können. Diese Funktion bietet eine ästhetische Visualisierung der noch vorhandenen Teile der Klosterkirche und schafft so einen erleichterten Zugang zum Verständnis der architektonischen Struktur.

Durch die immersive Natur von AR wird die Lernerfahrung intensiviert, was zu einem erhöhten Interesse und Verständnis seitens der Nutzenden führen kann. Die interaktive Lernerfahrung wird durch einen Lageplan des Klosterareals und die Darstellung seiner Geschichte weiter unterstützt. Diese Integration erlaubt es, nicht nur die Ruine der Klosterkirche zu erkunden, sondern auch einen umfassenderen Einblick in das historische und kulturelle Erbe des Klosters zu gewinnen. Darüber hinaus schafft die Einbeziehung des Teils zum Hudermoor in der App zusätzliche Möglichkeiten für die Nutzenden, sich über die Umgebung zu informieren und ein umfassenderes Bild der Region zu erhalten.

Die Integration verschiedener Aspekte in einer einzigen Anwendung erweitert somit das Erlebnis und fördert ein ganzheitliches Verständnis der Geschichte und Kultur des Klosters sowie seiner Umgebung. Durch die Applikation kann zudem ermöglicht werden, dass die Informationen zu der Ruine der Klosterkirche und deren Rekonstruktion ebenfalls außerhalb der Öffnungszeiten des Klostermuseum abgerufen werden können.

Die Benutzeroberfläche der App wurde durch wenige unterschiedliche Elemente intuitiv gestaltet. Dies ermöglicht dem Nutzenden eine übersichtliche App zu erkunden, die einen schnell zu den gewünschten Informationen leitet.

Fazit und Ausblick

Durch die Applikation kann historisches Wissen durch moderne Technologien vermittelt werden. Es konnte mit der Applikation eine interaktive Lernerfahrung geschaffen werden, welche neben den

herkömmlichen Herangehensweisen einen neuartigen Ansatz darstellt. Besonders Augmented Reality kann als innovative Technologie angesehen werden, um das Interesse und Verständnis historischer Inhalte in verschiedenen Zielgruppen zu fördern und somit Kulturerbe breiter zugänglich zu machen.

Im Rahmen des Projekts wurde eine AR-Anwendung für die Klosterkirchenruine in Hude erstellt, die auf mobilen Endgeräten flüssig genutzt werden kann, solange die Merkmalskarte ausreichend von der Smartphone Kamera erfasst wird. Darüber hinaus ergänzen die interaktiven Fenster zu der Geschichte sowie dem Lageplan des Klosterareals die Applikation um textliche sowie kartographische Informationen. Durch die interaktiven Elemente und die immersive Erfahrung bei der Nutzung der Applikation können die Informationen Interessierten langfristig auf ansprechende Weise vermittelt werden.

Für das hier dargestellte Projekt wurden bisher noch keine Daten über das Nutzererlebnis der App erhoben. Die Applikation fand im Rahmen einer Präsentation in Hude jedoch breiten Zuspruch bei Presse und Anwohnenden der Stadt. So kann davon ausgegangen werden, dass durch die Entwicklung und Nutzung der Applikation das Bewusstsein von der Klosterkirchenruine verstärkt werden kann und so das Kulturerbe der Region bekannter wird.

Zukünftig wäre es möglich, dass die Merkmalskarte (Abbildung 5), welche als Grundlage für die AR-Anwendung dient, vor dem Museum als dauerhafte Informationstafel errichtet wird. Anhand des QR-Codes auf dieser können Interessierte die Anwendung aus dem Google PlayStore herunterladen und die 3D-Modelle zu der Klosterkirche direkt in anschaulicher Größe auf die Tafel projizieren.

Ebenfalls wäre eine Erweiterung der Applikation denkbar. Neben der Geschichte sowie dem Lageplan können weitreichendere Informationen zum Kloster hinzugefügt werden. Es wäre ein Fenster zu dem gesamten Klosterareal möglich, auf welchem zusätzlich die anderen ehemaligen Gebäude lokalisiert und Texte abgerufen werden könnten. Denkbar wäre außerdem eine Ergänzung der AR-Anwendung um die Innenraum-Rekonstruktion der Klosterkirche. Dadurch könnten ebenfalls Eindrucke der damaligen Räumlichkeiten und des inneren Aufbaus erhalten werden.

Literatur und Datenquellen

Buchhage, J., Peters, L. K., Schmidt, A. (2017). Laserscan und Modellierung Klosterruine Hude. Projekt Visualisierung. Jade Hochschule Oldenburg

Castagnetti, C., Giannini, M., & Rivola, R. (2017). Image-based virtual tours and 3d modeling of past and current ages for the enhancement of archaeological parks: The visualversilia 3d project. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 639-645.

Denkmalatlas Niedersachsen (2024): Klosterkirche Hude (ehem. St. Maria) https://denkmalatlas.niedersachsen.de/viewer/metadata/35968067/3/-/; abgerufen am 10.10.2025

Janßen L., Sanders P., Sauerbier V. (in diesem Band): Die Kolonie Hudermoor: Nutzungswandel und Landsenkung im Laufe der Jahrzehnte. Bericht zu einer Storymap. Transformation Dynamics II

Kumar, A. (2020). Beginning PBR Texturing: Learn Physically Based Rendering with Allegorithmic's Substance Painter. Apress. Berkeley, Kalifornien.

Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., & Vetrano, M. (2017). An intelligent serious game for a multi-device cultural heritage experience. International Journal of Simulation and Process Modelling, 12(6), 498-514.

Madsen, J. B., & Madsen, C. B. (2015). Handheld visual representation of a castle chapel ruin. Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH), 9(1), 1-18.

Okanovic, V., Ivkovic-Kihic, I., Boskovic, D., Mijatovic, B., Prazina, I., Skaljo, E., & Rizvic, S. (2022). Interaction in extended reality applications for cultural heritage. Applied Sciences, 12(3), 1241.

Schleifer, H., Lindemann, M., Wolters, W., Ihde, K. (2017). Kloster Hude: Modellierung mit Context Capture. Projekt Visualisierung. Jade Hochschule Oldenburg

Sello, G. (1843). Das Cisterzienserkloster Hude bei Oldenburg. Großherzogl. Archivrat, 1843.

Zhou, Y., Chen, J., & Wang, M. (2022). A meta-analytic review on incorporating virtual and augmented reality in museum learning. Educational Research Review, 36, 100454.

Anhang



Abb 1 Benutzeroberfläche zum Hudermoor.



Abb 2 Benutzeroberfläche zur Ruine der Klosterkirche.



Abb 3 Benutzeroberfläche der Geschichte von der Klosterkirche.

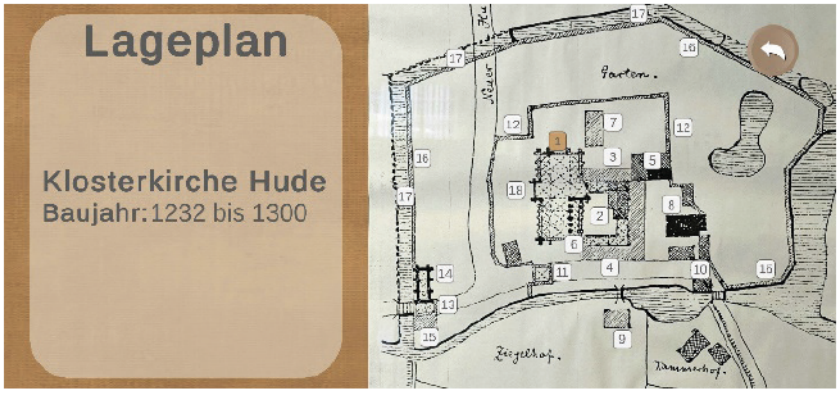


Abb 4 Benutzeroberfläche des Lageplans der Klosterkirche.

Transformation Dynamics

Digitalisierung in der Pflege – zwischen Ideal und Realität

Lihui Yin [1]

(1) Universität Vechta, Driverstraße 22, 49377 Vechta, denise.yin.hui@gmail.com

Abstract

Zu den großen Herausforderungen der Pflege in Deutschland zählen unter anderem steigender Pflegebedarf, Fachkräftemangel, ungünstige Arbeitsbedingungen und defizitäre Ausbildung. Die mit „Digitalisierung in der Pflege" zusammengefassten gegenwärtigen Entwicklungen stellen sich diesen Herausforderungen und suchen nach Lösungen. Informationen über weiterführende Projekte seitens der Forschung und adäquate Produktentwicklungen seitens der Industrie sind weit verstreut und wollen im Sinne einer konzertierten Aktion und gemeinsamen Perspektive – nicht zuletzt im Hinblick auf zielführende Maßnahmen und ihre Akteurinnen bzw. Akteure – zusammengeführt werden.

Anhand von 107 Publikationen im Zeitraum von 2010 bis 2023 wird der Stand der Digitalisierung in der Pflege in Deutschland analysiert. Demnach zeigen Technologien wie elektronische Pflegedokumentation, Telecare, Robotik und Assistenzsysteme signifikante Fortschritte, insbesondere im Hinblick auf Effizienzsteigerungen und Arbeitserleichterungen. Dennoch lassen sich Disparitäten im digitalen Entwicklungsstand zwischen den verschiedenen Pflegesektoren und Akteuren/innen sowie Herausforderungen wie fehlende rechtliche und finanzielle Rahmenbedingungen, geringe Technikakzeptanz und ethische Vorbehalte feststellen. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Notwendigkeit von systemischen Ansätzen, einer stärkeren Einbindung der Pflegeakteure/innen und weiterer Forschungsbedarf, um die digitale Transformation erfolgreich und nachhaltig zu gestalten.

Schlüsselworte:

Digitalisierung, Pflege, digitale Technologie, Technikakzeptanz, Robotik

Zitation:

Lihui Yin. Digitalisierung in der Pflege - zwischen Ideal und Realität. Transformation Dynamics 2025, 2, 6. (S. 115-127). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einleitung

Vor dem Hintergrund der digitalen Transformation des deutschen Gesundheitswesens in den letzten Jahren wird die professionelle Pflegearbeit, die mit einer Vielzahl struktureller Herausforderungen wie dem steigenden Pflegebedarf und dem Mangel an professionellen Pflegekräften konfrontiert ist, zunehmend als vielversprechendes Anwendungsfeld betrachtet. Insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels in der Gesellschaft, aufgrund des steigenden Anteils älterer Menschen und deren Bedarf an häuslicher Pflege (Teti 2015) gewinnen auch Ambient Assisted Living (AAL) und Smart Home in der informellen Pflege an Bedeutung. Anhand einer systematischen Literaturrecherche von 107 relevanten Publikationen aus den Jahren 2010 bis 2023 zum Thema digitale Anwendungen in der Pflege wird in diesem Beitrag der aktuelle Entwicklungsstand der Digitalisierung in der Pflege untersucht und dargestellt. Dabei werden zunächst die spezifischen digitalen Technologien vorgestellt, die derzeit in der Pflege eingesetzt werden. Anschließend werden die aktuellen Entwicklungen der Digitalisierung in der Pflegepraxis aus der Perspektive verschiedener Pflegeakteure/innen und pflegerischer Handlungsfelder interpretiert. Abschließend erfolgt eine Analyse der Dilemmata und Herausforderungen.

1 Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Die digitale Transformation des gesamten Gesundheitswesens und die damit einhergehende Anpassung der gesetzlichen Grundlagen wird als wichtige gesellschaftliche Rahmenbedingung für die digitale Weiterentwicklung der pflegerischen Versorgung in Deutschland gesehen. Hier wurde bereits 2015 mit dem Inkrafttreten des E-Health-Gesetzes ein wichtiges Ziel zur Einleitung der digitalen Transformation des deutschen Gesundheitswesens beschlossen. In den letzten Jahren sind weitere gesetzliche Regelungen entstanden, die die vielschichtige digitale Reform des Gesundheitswesens in Deutschland weiter forcieren, wie z.B. das Digitale-Versorgung-und-Pflege-Modernisierungs-Gesetz (DVPMG) im Jahr 2021 und das Digital-Gesetz (DigiG) im Jahr 2023. Dabei geht es nicht nur um die Bereitstellung digitaler Anwendungen im Gesundheitswesen, sondern vor allem um die Weiterentwicklung der Telematikinfrastruktur, das elektronische Rezept, die elektronische Patientenakte, die Entwicklung der Telemedizin und deren Anwendung in der Praxis. Darüber hinaus sind auch weitere digitale Gesundheitsanwendungen und digitale Pflegeanwendungen sowie deren Finanzierungsmöglichkeiten wichtige Themen. Vor diesem Hintergrund wird

die Pflege als wesentlicher Teil des Gesundheitssystems gemeinsam vorangebracht. Die konzeptionelle Umsetzung der Digitalisierung in der Pflegepraxis wird im Plädoyer der Konzertierten Aktion Pflege (KAP) 2019 ausführlich dargestellt.

Im Rahmen des Pflegepersonal-Stärkungsgesetzes (PpSG) hat die zentrale Interessenvertretung der gesetzlichen Kranken- und Pflegekassen in Deutschland, der GKV-Spitzenverband, eine neue Regelung „§ 8 Abs. 8 SGB XI" erarbeitet. Ihr zufolge wird ab 2019 bis 2030 ein einmaliger Zuschuss in Höhe von bis zu 12.000 Euro je ambulanter und stationärer Pflegeeinrichtung aus dem Pflegeversicherungsfonds zur Förderung digitaler Anwendungen gewährt.[1] Parallel zu den gesetzlichen Vorgaben hat sich in den letzten Jahren die Forschung zum Einsatz der Digitalisierung in der Pflegepraxis in einer Reihe von Förderprojekten als wichtige Treiberin erwiesen. Das Themenspektrum der Projekte ist breit gefächert, wobei der Schwerpunkt auf dem Einsatz neuer Technologien wie Künstliche Intelligenz, Robotik sowie Virtual, Augmented und Mixed Reality liegt, um die Arbeit formell und informell Pflegender zu unterstützen sowie Pflegebedürftigen ein selbstbestimmtes Leben zu ermöglichen. Zu den wichtigsten Impulsgebern zählen, laut einer Studie der Roland Berger GmbH 2017, 86 % der Projekte auf Bundesebene. Hervorzuheben sind hier beispielsweise das ab 2017 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „Zukunft der Pflege" und das ab 2020 vom BMBF im Rahmen des Programms „Innovationen in der Pflege 2030" geförderte Projekt „Robotersysteme für die Pflege", in dem Pflegewissenschaftlerinnen und -wissenschaftler gemeinsam mit Pflegenden und Pflegebedürftigen an „Robotersystemen für die Pflege" arbeiten (Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend, BMFSFJ 2020). Als regional betriebene Projektreihe für vorbildliche Wohnumfelder für pflegebedürftige Menschen ist die 2018 gestartete Projektreihe „DeinHaus 4.0" zu nennen (Haug 2023).

Nicht zu übersehen ist, dass neben den Forschungsprojekten auch die wachsende gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber dem Einsatz digitaler Produkte in der Pflege als wichtiger externer Einflussfaktor für die weitere Entwicklung der Digitalisierung in der Pflege in Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. Dies verdeutlicht eine Studie des Zentrums für Qualität in der Pflege (ZQP) aus dem Jahr 2018, nach der die Bevölkerung in Deutschland dem Einsatz digitaler Technologien in der Pflege grundsätzlich positiv gegenübersteht und in Bezug auf spezifische Anwendungen wie Smart Home und Pflegehilfsmittel eine hohe Akzeptanz zeigt (Eggert et al. 2018).

1 Vgl. Bundesamt für Justiz (BfJ): § 8 Gemeinsame Verantwortung. URL: **https://www.gesetze-im-internet.de/-sgb_11/__8.html** (25.12.2024)

2 Digitale Technologien in der Pflegearbeit

Für die komplexen und unübersichtlichen digitalen Produkte auf dem derzeitigen Pflegemarkt fehlt es an einer umfassenden und einheitlichen Klassifikation (Merda et al. 2017). Eine bisher weit verbreitete Einteilung orientiert sich an einer technologischen Dimension, wobei digitale Anwendungen in der Pflege generell in vier Kategorien eingeteilt werden: elektronische Pflegedokumentation, technische Assistenzsysteme, Telepflege und Robotik.

2.1 Digitale Informationssysteme

Nach dem aktuellen Forschungsstand betrifft die wesentlichste Veränderung im Rahmen des digitalen Wandels in der Pflege die Digitalisierung des Informationsaustausches sowie der Arbeitsorganisation und -verwaltung in der Pflege. Mit der Umstellung von handschriftlichen auf IT-gestützte elektronische Dokumentationssysteme werden nicht nur die Kommunikationsprozesse zeitlich deutlich beschleunigt, sondern auch eine Zeitersparnis und Effizienzsteigerung für das Pflegepersonal bei der Dokumentation erreicht und damit Entwicklungsmöglichkeiten für das Qualitätsmanagement in der Pflege in Aussicht gestellt. Nach einer Studie aus dem Jahr 2020 liegt der Anteil der elektronischen Dokumentation im deutschen Pflegesektor in verschiedenen Versorgungsbereichen bereits bei knapp 70% (BGW 2017). Neben der elektronischen Pflegedokumentation hat auch die Digitalisierung des organisatorischen Pflegemanagements, z. B. der Leistungsverwaltung, des Rechnungs- und Rechnungswesens, des Informationsmanagements über Gäste und Pflegende, erheblich zur Optimierung der Pflegeprozesse und zur Verbesserung der Arbeitseffizienz sowie der Leistungsqualität beigetragen. Laut KAP 2019 entspricht die Ressourceneinsparung, die allein durch den Einsatz der digitalen Abrechnung (inklusive aller Datensätze) in ambulanten Pflegeeinrichtungen in Deutschland realisiert werden kann, Berechnungen des Statistischen Bundesamtes zufolge, bis zu 523.000 Arbeitsstunden oder rund 16,5 Millionen Euro (KAP 2019). Parallel zur raschen Verbreitung digitaler Informationssysteme in der Pflege erweitern sich durch die Weiterentwicklung und Einführung neuer Technologien wie Natural Language Processing, Spracherkennung, Sprachsteuerung und automatisierter Datenübertragung vor dem Hintergrund künstlicher Intelligenz die Chancen für eine effizientere Gestaltung der Pflegearbeit.

2.2 Telepflege und Telemonitoring

Neben der Einführung digitaler Informationssysteme wird im Rahmen des Konzepts der Telemedizin auch die Telepflege als zukunftsträchtige Variante betrachtet. Bei der Telepflege mittels IKT-gestützter Videotelefonie werden der Pflegende und der zu Pflegende als interagierende Subjekte gesehen. Mit Hilfe von Videotelefonie kann der Pflegende schneller und effizienter eine bestimmte Leistung erbringen und ortsunabhängig mit dem Pflegebedürftigen, seinen Angehörigen und anderen am Pflegeprozess beteiligten Leistungserbringern wie Hausärzten und Therapeuten kommunizieren. Vorgesehene Anwendungsbereiche sind beispielsweise das Wundmanagement und Medikamentenmanagement für Pflegebedürftige sowie die direkte Unterstützung und Beratungshilfe für Angehörige und Bezugspersonen. Ähnlich wie die Telepflege kommt auch das Telemonitoring unter dem Begriff der Telematik als eines der wichtigsten digitalen Hilfsmittel zur Anwendung. Bislang wird es vor allem zur Erfassung von Vitaldaten chronisch kranker Menschen eingesetzt. Durch die zeitnahe und kontinuierliche Erfassung von Daten über Vitalwerte und Krankheitssymptome des Patienten können Veränderungen im Krankheitsverlauf frühzeitig erkannt und mögliche Risiken prognostiziert werden (Wahl 2021). Laut der von der Europäischen Kommission zwischen 2007 und 2011 finanzierten DREAMING-Studie (elDeRly-friEndly Alarm Processing and Monitoring), an der 380 chronisch kranke Menschen im Alter von 60 Jahren und älter aus sechs Ländern beteiligt waren, hat sich der Einsatz von Telemonitoring als effektiv erwiesen, um unerkannte Diabetespatienten/innen zu identifizieren, die Sturzrate zu senken und die Zahl der Einweisungen in Pflegeheime und Krankenhäuser signifikant zu reduzieren (Wahl 2021).

2.3 Robotik

Auch der Einsatz von Robotik in der Pflege hat sich in den letzten Jahren zu einem brisanten Thema entwickelt. Ein wichtiger Anwendungsfall sind anthropomorphe Pflegeroboter. Diese künstlich intelligenten Roboter basieren auf Systemen und Algorithmen wie maschinellem Lernen, natürlicher Sprachverarbeitung und Computervision, um fortgeschrittene menschliche Fähigkeiten zu imitieren. Nach den verschiedenen Anwendungsbereichen kann der Einsatz von Robotern in der Pflege in drei Kategorien unterteilt werden. Die erste Kategorie umfasst Roboter für die alltägliche physische Unterstützung, wie Transportroboter zum Abholen und Ausliefern von Waren, intelligente Pflegewagen und Roboter zur Unterstützung im Haushalt, wie der Care-O-bot, der als Roboter der

vierten Generation entwickelt wird (Daum 2017). Ein zweites Anwendungsgebiet ist die soziale und kognitive Unterstützung. Dazu gehören emotionale Roboter wie die Robbe Paro, die Katze JustCat, der Hund Aibo und der Dinosaurier Pleo (Heuer und Schiering 2022). Darüber hinaus werden Spielzeugroboter mit Spracherkennung zur Förderung der kognitiven Fähigkeiten und der Mobilität eingesetzt, z. B. Cozmo und Vector. Schließlich gibt es ein wachsendes Interesse an anthropomorphen Robotern wie NAO, ZORA und PEPPER, deren Multifunktionalität und anthropomorphe Kommunikationsfähigkeiten ein größeres Potenzial für therapeutische und prothetische Anwendungen eröffnen (Heuer und Schiering 2022). Als drittes Anwendungsfeld kommen Funktionen zur physischen Aktivität und Mobilitätsunterstützung hinzu. Beispiele hierfür sind intelligente Rollatoren für Pflegebedürftige wie der SmartWalker und der FriWalk sowie das Exoskelett ReWalk. Ebenso das Exo-Jacket, das zur Unterstützung des Pflegepersonals und zur Entlastung von Armen und Schultern eingesetzt werden kann (Daum 2017).

Schließlich werden technische Assistenzsysteme mit einem breiten Spektrum an Einsatz- und Integrationsmöglichkeiten in der häuslichen und professionellen Pflege in den Blick genommen. Ziel ist es, das Pflegepersonal zu entlasten und gleichzeitig dem Pflegebedürftigen ein möglichst langes und selbstbestimmtes Leben in seiner häuslichen Umgebung zu ermöglichen. Zu den digitalen Hilfsmitteln gehören beispielsweise Sensor- und Ortungsgeräte, Smartphone-Apps und Kommunikationsplattformen, Spracherkennung, intelligente Möbel und Kleidung, Serviceroboter, integrierte Pflegenetzwerke bis hin zu lernenden Kontrollsystemen zur Risikoerkennung (Vetter und Cerullo 2022).

3 Digitalisierungsstand in pflegerischen Handlungsfeldern

Trotz der dynamischen Entwicklung digitaler Anwendungen in der Pflege und des Aufkommens digitaler Produkte auf dem Pflegemarkt in den letzten Jahren befindet sich der aktuelle Digitalisierungsstand in der pflegerischen Versorgung noch im Anfangsstadium. Verglichen mit der Verbreitung digitaler Anwendungen in anderen Gesundheitssektoren wie der Medizin erscheint der Pflegesektor in vielen Studien als „Nachzügler“ (BMFSFJ 2020). Vor dem Hintergrund eines geringen Digitalisierungsgrades zeigt sich eine starke Heterogenität in der digitalen Nutzung in den einzelnen Pflegebereichen. Nicht nur zwischen der professionellen institutionellen Pflege und der informellen häuslichen Pflege, sondern auch

zwischen der Krankenpflege und der Altenpflege zeigt sich eine signifikante Divergenz im Digitalisierungsgrad. Im Gegensatz zur häuslichen Pflege nimmt die professionelle Pflege, insbesondere die Krankenpflege, sowohl in der wissenschaftlichen Forschung als auch in der Ausprägung digitaler Anwendungen eine Vorreiterrolle ein. In der häuslichen Pflege beschränkt sich die einzige digitale Lösung, die sich derzeit durchsetzt und finanziert wird, auf das Hausnotrufsystem. Die seit Jahren diskutierten Anwendungen „Smart Home" und „digitale Gesundheitsanwendungen" werden laut Umfragen von weniger als 10 % der über 60-Jährigen genutzt (BMFSFJ 2020). Vor allem die Angehörigen, die eigentlichen Hauptakteure in der häuslichen Pflege, werden bei der Entwicklung digitaler Anwendungen eher wenig in den Fokus genommen.

Neben den Unterschieden in den verschiedenen Pflegekontexten zeigen sich auch große Disparitäten in den Nutzungsquoten bezogen auf die einzelnen digitalen Produkte. Im Mittelpunkt der Nutzung digitaler Medien in der Pflege steht bislang vor allem der Einsatz elektronischer Pflegedokumentation und Informationssysteme zur Pflegeorganisation und -verwaltung. Dies betrifft vor allem die Verwaltungsebene der Pflegearbeit, während der Einsatz digitaler Produkte auf der Ebene der primären pflegerischen Tätigkeit weniger ausgeprägt ist (Evans et al. 2022). Laut der Befragung von bundesweit 951 Pflegeeinrichtungen im Jahr 2020 liegt der Einsatz von Software zur Verwaltung und Abrechnung von Leistungen in den Einrichtungen bei über 90 % (IGES Institut 2020). Dabei ist die Digitalisierung im Bereich der Abrechnung und Leistungserfassung am weitesten fortgeschritten. Im Vergleich zur Kurzzeitpflege und zur ambulanten Pflege weist die stationäre Langzeitpflege einen höheren Digitalisierungsgrad auf, insbesondere beim Qualitätsmanagement und bei der Wunddokumentation. Aufgrund des überwiegend mobilen Charakters der Leistungserbringung werden in der ambulanten Pflege jedoch deutlich häufiger Software zur Tourenplanung und mobile Endgeräte eingesetzt als in der stationären Pflege. Mit Blick auf die Managementebene beschränkt sich die Unterstützung in der Primärversorgung noch auf technische Geräte mit relativ einfachen Funktionen zur Körper- und Kraftunterstützung wie elektronische Pflegebetten, elektrische Rollstühle und Personenlifter. Robotik, Telemonitoring, Telepflege und andere oben genannte Anwendungen befinden sich noch weitgehend im Stadium der wissenschaftlichen Erforschung und Auslotung ihrer Einsatzmöglichkeiten und sind in der Pflegepraxis noch nicht weit verbreitet (BMFSFJ 2020).

4 Technikbereitschaft und -akzeptanz bei Pflegeakteuren/innen

Mit der Zunahme digitaler Anwendungen in der Pflegepraxis rückt auch die Akzeptanz und Nutzung verschiedener digitaler Anwendungen in der Pflegearbeit vonseiten der jeweiligen Pflegeakteure/innen in den Blickwinkel. Allerdings gibt es bislang keine einheitlichen Bewertungsmaßstäbe und Definitionsansätze in den verschiedenen Studien zur Technikakzeptanz in der Pflege, zudem fehlen insbesondere fachspezifische, bundesweit repräsentative Untersuchungsdaten. In den aktuellen Studien werden vor allem die Kriterien „Technikeinstellung", „Technikbereitschaft", „Technikaffinität", „Technikzugang", „Techniknutzung", „Technikerfahrung", „Technikwissen" und „Technikkompetenz" erfasst. Nach den vorliegenden Studien zur Techniknutzung in der Pflege zeigen die verschiedenen Pflegeakteure trotz einer generell geringen Technikakzeptanz eine positive Einstellung und optimistische Zukunftserwartungen (Institut für Gesundheits- und Sozialforschung, IGES 2020). In Bezug auf die konkrete Nutzung von Technik zeigt sich jedoch eine mittlere Bereitschaft und ein mangelnder Zugang zu Technik (Strutz et al. 2020). Darüber hinaus verstärken fehlende Informationen, Kompetenzen und Erfahrungen (Kuhlmey et al. 2019) im Umgang mit der Technik das Misstrauen der Nutzergruppen, was wiederum die Technikakzeptanz weiter dämpfen kann (BMFSFJ 2020). So empfinden fast 60 % der Befragten den Umgang mit technischen Innovationen häufig als zu große Herausforderung. Fast 50 % der Befragten halten den Umgang mit neuen Technologien für schwierig bzw. in den meisten Fällen für nicht beherrschbar (IGES 2020).

Überdies differiert die Akzeptanz der verschiedenen digitalen Technologien auf Seiten der Pflegekräfte deutlich. So zeigen einige Studien, dass die Ablehnung und Skepsis gegenüber dem Einsatz von Robotern in der Pflegeinteraktion größer als gegenüber dem Einsatz von Informationserfassungs- und Kommunikationssystemen zur Organisation der Pflegetätigkeit sowie gegenüber dem Einsatz von Sensortechnologien zur Erhöhung des Sicherheitsgefühls ausgeprägt sind (Scorna et al. 2021). Auf der anderen Seite hat die praktische Tauglichkeit digitaler Anwendungen, wie Ausgereiftheit, Benutzerfreundlichkeit und Nützlichkeit, ebenfalls eine positive Wechselwirkung auf die Technologienutzung (Hasseler und Mink 2022). Bei den Einflussfaktoren auf die Technikakzeptanz unterscheiden sich neben externen Faktoren wie Investitionskosten, rechtlichen Fragen und bürokratischen Abläufen auch die Voraussetzungen für die Akzeptanz und Nutzung der Technik unter den Nutzern

(Scorna et al. 2021). Weiterhin haben auch soziodemografische Faktoren wie Alter, Geschlecht, Bildung und Einkommen der Nutzenden einen signifikanten Einfluss auf die Technikeinstellung und Technikaffinität (BMFSFJ 2020). So weisen Nutzerinnen und Nutzer mit höherem Einkommen und höherem Bildungsniveau eine höhere Technikaffinität, eine positivere Technikeinstellung und eine höhere Nutzungskompetenz auf (Strutz et al. 2020). Auch der kulturelle Hintergrund und dessen Herkunft kann als möglicher Faktor in Betracht gezogen werden, denn eine aktuelle Studie zeigt beispielsweise, dass bei der Untersuchung des Robotereinsatzes in der Pflege deutsche Pflegekräfte die Bedeutung der Aufrechterhaltung einer vertrauensvollen Beziehung und der persönlichen Würde an erster Stelle nennen, während Pflegekräfte aus dem Ausland in der Regel das Kollektivprinzip der Pflegebeziehung als zentrales Kriterium für die ethische Bewertung des Technikeinsatzes heranziehen (Matsuzaki und Gliesche 2023).

5 Herausforderungen

Angesichts des bislang noch relativ unterentwickelten Standes der Digitalisierung in der Pflege und der Vielzahl an Herausforderungen bei der Implementierung drängt sich der Eindruck auf, dass sich die Digitalisierung in der Pflege in einem Engpass befindet. Es wird immer wieder diskutiert, inwieweit der bisherige Einsatz der Digitalisierung zu Effizienzsteigerungen und Arbeitsentlastungen in der Pflege geführt hat und inwiefern die Digitalisierung ihr Potenzial in der Pflege auch in Zukunft ausschöpfen könnte. Unstrittig und durch zahlreiche Studien belegt ist, dass digitale Informationssysteme in der Pflege, wie z. B. die elektronische Pflegedokumentation und Arbeitsorganisationssysteme, trotz des personellen und finanziellen Aufwands bei der Einführung, zunächst durchaus Effizienzsteigerungen und einer Verbesserung der Arbeitsqualität auslösen können (Hielscher 2015). Andere technische Assistenzsysteme, wie z.B. die Sensorik, tragen dazu bei, die physische und psychische Belastung der Pflegekräfte zu reduzieren und damit die Arbeitszufriedenheit zu erhöhen (Evans et al. 2018). Hinsichtlich der Chancen für den Pflegeberuf wird die Zunahme digitaler Anwendungen unvermeidlich zu einer inhaltlichen Erweiterung des Pflegeberufs führen und die Attraktivität des Berufs fördern (BMFSFJ 2020).

Im Gegensatz zu diesen offensichtlichen Gewinnen wird die Implementierung digitaler Anwendungen in der Pflege jedoch voraussichtlich vor größere Herausforderungen gestellt werden. Es wird immer deutlicher, dass sich die Digitalisierung in der Pflege nicht auf die bloße Einführung

digitaler Produkte beschränkt, sondern einen strukturellen und systemischen digitalen Wandel im gesamten Sektor voraussetzt, der jedoch noch nicht hinreichend geklärt ist. Dies betrifft nicht nur die fehlenden externen Rahmenbedingungen für die Entwicklung, sondern auch die ethische Diskussion über den Einsatz von Robotertechnologien für die zwischenmenschliche Interaktion in der Pflege (Meissner 2017). In Bezug auf die fehlenden Rahmenbedingungen können die fehlenden rechtlichen Grundlagen und die Unklarheit hinsichtlich der finanziellen Sicherstellung als die fundamentalsten Hemmnisse für die Digitalisierung im Pflegesektor identifiziert werden (Hülsken-Giesler 2016). Die fehlenden rechtlichen Grundlagen betreffen nicht nur die Verbesserung der gesetzlichen Vorgaben für die Datensicherheit und den Schutz der Persönlichkeitssphäre, sondern auch die Überarbeitung aller anderen relevanten Rechtsvorschriften wie z.B. Sozialrecht, Produktsicherheitsrecht etc. (Luthe 2022).

Abgesehen von den fehlenden rechtlichen Rahmenbedingungen erschweren die unklaren Finanzierungsmöglichkeiten die Umsetzung der technologischen Entwicklung im Pflegesektor bereits in der Startphase. Dies ist darauf zurückzuführen, dass finanzielle Investitionen nicht nur einmalige Ausgaben für die Anschaffung digitaler Geräte erfordern, sondern einen langfristigen, kontinuierlichen und vielschichtigen Investitionsprozess. In diesem Zusammenhang spielt die Unreife des Angebots- und Nachfragemarktes für technologisch innovative Produkte eine wichtige Rolle (Fuchs-Frohnhofen et al. 2020). Es bestehen viele Unsicherheiten hinsichtlich der technologischen Ausgereiftheit der digitalen Produkte, der Qualitätsauswertung und Identifizierung der Zielgruppen der Applikationen sowie der Gebrauchstauglichkeit der Produkte. Finanzierungsprobleme und fehlende Geschäftsmodelle verschärfen das Dilemma, die Finanzierungsquellen für digitale Produkte in der Pflege zu erweitern (Kortendieck 2022). Auf der Mikroebene erfordert der Einführungsprozess und die Integration digitaler Lösungen in die Pflegepraxis auch kontinuierliche interne Anpassungen in den Einrichtungen, insbesondere im Hinblick auf die Schulung und technische Unterstützung des betroffenen Personals (Deitmerg et al. 2023). Allerdings besteht in der Praxis ein Mangel an digitalen Kompetenzen des Pflegepersonals sowie ein Defizit an adäquaten Informationen und Hilfestellungen, was eine mögliche zusätzliche Belastung bei der Implementierung digitaler Lösungen darstellt (Roland Berger GmbH 2017). Nicht zuletzt gibt es aus pflegewissenschaftlicher Perspektive eine zunehmende ethische Diskussion über das Verhältnis von Pflege und Technik beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme in der Pflege. Insbesondere in der personenzentrierten Grundpflege kam es in den letzten Jahrzehnten vermehrt zu Interaktionen

zwischen Menschen und robotischen Systemen. Dies stellt einerseits eine große Abweichung vom traditionell definierten Bild des Pflegeberufs dar und hat andererseits zu einem Umdenken in Bezug auf die Pflegequalität geführt (Bleses et al. 2020). Insbesondere im Umgang mit vulnerablen Menschen mit besonderen Pflegebedürfnissen wird der zunehmende Einsatz der Digitalisierung als Zeichen einer Deprofessionalisierung kritisiert (Hielscher 2014).

6 Ausblick

Trotz der allseits hohen Erwartungen beschränkt sich die Entwicklung der Digitalisierung sowohl in der professionellen als auch in der häuslichen Pflege auf ein vergleichsweise geringes Ausmaß. Diese begrenzte Digitalisierung geht einher mit einer geringen Technikakzeptanz und Kontroversen über die tatsächlichen Auswirkungen der Digitalisierung in der Pflegepraxis sowie über ethische Fragen in der zwischenmenschlichen Pflegeinteraktion. Darüber hinaus darf nicht übersehen werden, dass die Realisierung digitaler Anwendungen in der Pflege eine Anpassung der institutionellen Rahmenbedingungen und eine nachhaltige Finanzierung voraussetzt, um die gewünschte Wirksamkeit und Nachhaltigkeit entfalten zu können. Dies dürfte derzeit die größte Hürde für die tragfähige Entwicklung und den Erfolg der Digitalisierung in der Pflege sein. Das Phänomen des insgesamt geringen Digitalisierungsgrades und die strukturellen Herausforderungen bündeln sich nicht nur im Handlungsfeld Pflege, sondern im gesamten Gesundheitswesen in Deutschland. Sowohl im nationalen als auch im internationalen Vergleich, insbesondere mit asiatischen Ländern, schneidet der Digitalisierungsgrad und dessen Entwicklung im Gesundheitssektor in Deutschland vergleichsweise schlecht ab (Baierlein 2017, Wöhler und Colonna 2023). Der Grund liegt vermutlich im NASSS-Rahmenmodell (NASSS = nonadoption, abandonment, and challenges to the scale-up, spread, and sustainability of health and care technologies), wonach Technologien im Gesundheitswesen nur selten auf einfache Weise implementiert werden können und die Komplexität der damit verbundenen sozio-technischen Systeme und Anwendungsumgebungen bei der Implementierung einfacher Lösungen häufig unterschätzt wird (Zerth et al. 2021), was insbesondere für den Pflegebereich mit seiner hohen Komplexität gilt.

Somit rückt neben immer mehr technologischen Innovationen im Pflegesektor zunehmend ein entsprechendes soziotechnisches System in den Vordergrund (Krick et al. 2023). Dabei ist jedoch zu beachten, dass technologische Innovation nicht gleichbedeutend mit sozialer Innovation ist.

Gesellschaftliche Herausforderungen müssen durch institutionelle Entwicklungen angegangen werden. Die strukturellen Herausforderungen im Pflegesektor sollten bei der Förderung der Digitalisierung nicht vernachlässigt werden (Evans et al. 2018). Darüber hinaus ist eine stärkere und frühzeitigere Einbindung der Pflegeakteure/innen in den Innovationsprozess zu fordern, denn die einseitige Dominanz der Technologen birgt womöglich die Gefahr technologischer Innovationen, die an den praktischen Bedürfnissen vorbeigehen (Merda et al. 2017). Die technischen Bedürfnisse und Kompetenzen der Pflegeakteure/innen müssen mehr Berücksichtigung gewinnen (Fuchs-Frohnhofen et al. 2020). Schließlich erfordert die digitale Entwicklung in der Pflege mehr wissenschaftliche Forschung. Dabei geht es nicht nur um die Erforschung der Anwendungskontexte und -bedingungen, sondern auch um die systematische Evaluation der Anwendungsergebnisse (BMFSFJ 2020). Auch wenn sich die digitale Entwicklung in der Pflege in einem strukturellen Dilemma zu befinden scheint, sollte man im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Digitalisierung in der Pflege trotzdem nicht entmutigt sein. In Anbetracht der Tatsache, dass sie sich noch im Entwicklungsstadium befindet, können noch keine endgültigen Schlussfolgerungen gezogen werden, insbesondere in Bezug auf einige Fragen der technologischen Reife. Sofern digitale Technologien eine aktive Rolle bei der Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Pflegekräften und der Autonomie von Pflegebedürftigen im Sinne eines Mehrwerts in vielfältiger Weise spielen können, sollten sie aus dem Pflegebereich im traditionellen Verständnis nicht ausgeschlossen werden. Bis dahin ist es allerdings noch ein weiter Weg.

Literaturverzeichnis

Bleses, P., Busse, B., & Friemer, A. (Hrsg) (2020). Veränderungsprojekt Digitalisierung der Arbeit in der Langzeitpflege. Springer. Heidelberg.

Bovenschulte, M., Busch-Heizmann, A., Lizarazo López, M., Lutze, M., Tiry-aki, Ş. & Trauzettel, F. (2021). Potenziale einer Pflege 4.0 – Wie innovative Technologien Entlastung schaffen und die Arbeitszufriedenheit von Pflegefachpersonen in der Langzeitpflege verändern. Bertelsmann Stiftung.

Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ). (2020). Achter Altersbericht – Ältere Menschen und Digitalisierung. Deutscher Bundestag – 19. Wahlperiode.

Daum, M. (2017). Digitalisierung und Technisierung der Pflege in Deutschland. Aktuelle Trends und ihre Folgewirkungen auf Arbeitsorganisation, Beschäftigung und Qualifizierung. DAA-Stiftung Bildung und Beruf. Hamburg.

Die Bundesregierung (2019). Konzertierte Aktion Pflege. Zweiter Bericht zum Stand der Umsetzung der Vereinbarungen der Arbeitsgruppen 1 bis 5. Seiten 76 – 90.

Eggert, S., Sulmann, D. & Teubner, C. (2018). Einstellung der Bevölkerung zu digitaler Unterstützung in der Pflege. In: Zentrum für Qualität in der Pflege (Hrsg). ZQP-Report. Pflege und digitale Technik. Seiten: 16 – 31.

Evans, M., Hielscher, V. & Voss, D. (2018). Damit Arbeit 4.0 in der Pflege an-kommt. Wie Technik die Pflege stärken kann. Policy Brief der Hans-Böckler-Stiftung, Nr. 4 / März 2018, Düsseldorf.

Evans, M., Kemper, J., Kucharski, A., Seyda, S., Hickmann, H. & Pierenkemper, S. (2022). Gestaltungspfade und Gestaltungspraxis der Digitalisierung in der Altenpflege in NRW. Institut der deutschen Wirtschaft. Nr. 15, Köln.

Fuchs-Frohnhofen, P., Mallau, M., Bogert, B., Palm, G., Kerger, K., Fuhrmann, P. & Hintzen, L. (2020). Anwendungschancen innovativer Technologien für Pflegeeinrichtungen. Verlag der MA&T Sell & Partner GmbH. Würselen.

Hielscher, V. (2014). Technikeinsatz und Arbeit in der Altenpflege – Ergebnisse einer internationalen Literaturrecherche. In: Institut für Sozialforschung und Sozialwirtschaft (iso) e.V. (Hrsg). Reihe: iso-Report. Berichte aus Forschung und Praxis. Saarbrücken. Seiten: 5 – 38.

Hielscher, V., Nock, L. & Kirchen-Peters, S. (2015). Technikeinsatz in der Altenpflege. Potenziale und Probleme in empirischer Perspektive. Forschung aus der Hans-Böckler-Stiftung. 178. Nomos-Verlagsgesellschaft. Baden-Baden.

Hülsken-Giesler, M. (2016). Vorteile und Grenzen der Technisierung in der Pflege. In: Dabrowski, M. & Wolf, J. (Hrsg). Menschenwürde und Gerechtigkeit in der Pflege. Ferdinand Schöningh. Paderborn. Seiten: 160 – 185.

Kortendieck, G. (2022). Marketing bei assistiven Technologien. In: Luthe, E.-W. / Mülle, S. V. & Schiering, I. (Hrsg). Assistive Technologien im Sozial- und Gesundheitssektor. Springer VS. Wiesbaden. Seiten: 565 – 599.

Krick, T., Zerth, J., Rothgang, H., Klawunn, R., Walzer, S. & Kley, T. (Hrsg). (2023). Pflegeinnovationen in der Praxis – Erfahrungen und Empfehlungen aus dem „Cluster Zukunft der Pflege". Springer Gabler. Wiesbaden.

Kuhlmey, A., Blüher, S., Nordheim, J. & Zöllick, J. (2019). Technik in der Pflege – Einstellungen von professionell Pflegenden zu Chancen und Risiken neuer Technologien und technischer Assistenzsysteme. In: Zentrum für Qualität in der Pflege (Hrsg). ZQP-Report. Pflege und digitale Technik. Seiten: 31 – 36.

Luthe, E. W. (2022). Rechtliche Rahmenbedingungen assistiver Technologien im Gesundheits- und Sozialsektor. In: Luthe, E.-W. / Mülle, S. V. & Schiering, I. (Hrsg). Assistive Technologien im Sozial- und Gesundheitssektor. Springer VS. Wiesbaden. Seiten: 361 – 417.

Meissner, A. (2017). Technisierung der professionellen Pflege. Einfluss. Wirkung. Veränderung. In: Hagemann, T. (Hrsg). Gestaltung des Sozial- und Gesundheitswesens im Zeitalter von Digitalisierung und technischer Assistenz. 1. Auflage. Nomos Verlagsgesellschaft. Baden-Baden. Seiten: 153 – 172.

Merda, M., Schmidt, K. & Kähler, B. (2017). Pflege 4.0 – Einsatz moderner Technologien aus der Sicht professionell Pflegender. Forschungsbericht. Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) (Hrsg). Hamburg.

Roland Berger GmbH & Deutsches Institut für angewandte Pflegeforschung e.V. und Philosophisch Theologische Hochschule Vallendar (2017). ePflege – Informations- und Kommunikationstechnologie für die Pflege. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit. Berlin, Vallendar, Köln.

Scorna, U., Frommeld, D., Haug, S. & Weber, K. (2022). Digitale Technik in der Pflege als Generallösung? Neue Perspektiven auf altersgerechte Assistenzsysteme. In: Freier, C., König, J., Manzeschke, A. & Städtler-Mach, B. (Hrsg). Gegenwart und Zukunft sozialer Dienstleistungsarbeit Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Sozialwirtschaft. Springer VS. Wiesbaden. Seiten: 301 – 315.

Strutz, N., Kuntz, S., Lahmann, N. & Steinert, A. (2020). Analyse der Technikbereitschaft und -nutzung von Pflegeinnovationstechnologien von Mitarbeiter*innen im Pflegeprozess. HBScience (2020) 11. Seiten: 27 – 34.

Teti, A. (2015): Wohnen im Alter. In: Jacobs, K., Kuhlmey, A., Schwinger, A. & Greß, S. (2015). Pflege Report 2015 – Pflege zwischen Heim und Häuslichkeit. Schattauer: Stuttgart.

Zerth, J., Jaensch, P. & Müller, S. (2021). Technik, Pflegeinnovation und Implementierungsbedingungen. In: Jacobs, K., Kuhlmey, A., Greß, S., Klauber, J. & Schwinger, A. (Hrsg). Pflege-Report 2021. Springer. Berlin. Seiten: 157 – 170.

Transformation Dynamics

Transformationsforschung zu Anwendungen der Künstlichen Intelligenz erfordert einen Fokus auf emergente Eigenschaften

Broder Breckling [1]

(1) Universität Vechta, Fakultät II, Driverstraße 22, 49377 Vechta, broder.breckling@uni-vechta.de

Abstract

Die Dynamik transformativer Prozesse wird gestaltet durch das Zusammenwirken verschiedener sozialer, technischer und ökologischer Komponenten. Gesellschaftliche Veränderungen entstehen aus Wechselwirkungen sozialen Austauschs mit neuen technischen Optionen und der natürlichen und der menschlich gestalteten Umwelt wie sie im Forschungsprogramm der Sozialen Ökologie beschrieben werden. Um Ziele der Nachhaltigkeit zu erreichen, wirken interessengeleitete Diskurse, technische Optionen, Umweltveränderungen und deren Rückwirkungen auf die Gesellschaft zusammen. Eine der neueren Komponenten, die zunehmend mehr Bedeutung erlangen, sind Anwendungen digitaler Technologien, insbesondere aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI). Um deren Bedeutung in anwendungspraktischer wie in risikoaverser Hinsicht zu bewerten, werden klassischerweise Technologiefolgen-Abschätzungen (TA) durchgeführt. In dem Beitrag wird erläutert, in welcher Weise dabei über die unmittelbar evidenten Wirkungsketten hinaus emergente Phänomene mit erschlossen werden müssen. Dazu werden Themen weiterreichender Implikationen angesprochen. Die Implikationsanalyse erweitert TA insofern, als dass sie zusätzlich zu Wirkungen und Nebenwirkungen Veränderungen auf weiter entfernten Organisationsebenen betrachtet und dabei Gültigkeitsbereiche von *ceteris paribus* Bedingungen erwägt. Im Hinblick auf die sich schnell weiter entwickelnden KI-Anwendungen wird als zu berücksichtigende Wirkungsdimension das Hinzukommen von zwecksetzenden Subjekt-Eigenschaften bzw. die Hybridbildung natürlicher und technischer Subjekte thematisiert, die dem bisher diskutierten instrumentellen Charakter von KI-Anwendungen weitreichend neue Dynamiken hinzufügen würden, die über den aktuellen Anwendungsrahmen hinausweisen. Dabei spielt die Fokussierung auf die Aufdeckung emergenter Phänomene eine zentrale Rolle. Die dazu erforderlichen Begrifflichkeiten und Problemstellungen werden erläutert.

Schlüsselworte:

Künstliche Intelligenz (KI), Transformation, Technologiefolgen-Abschätzung Implikationsanalyse, Emergenz, emergente Eigenschaften, Soziale Ökologie, Nachhaltigkeit.

Zitation:

Breckling, Broder. Transformationsforschung zu Anwendungen der Künstlichen Intelligenz erfordert einen Fokus auf emergente Eigenschaften. Transformation Dynamics 2025, 2, 7. (S. 129-148). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einleitung

Transformationsforschung untersucht die Bedingungen, Antriebe, Hindernisse und Abläufe von Veränderungen, die sich in der gesellschaftlichen Organisation und in ihrem Bezug auf die Umwelt und Naturgrundlage ergeben. Sie trägt damit zu dem Ziel bei, Persistenz- und Entwicklungsbedingungen menschlicher Lebenszusammenhänge ganzheitlich zu verbessern (Wittmayer und Hölscher 2017). Transformationsforschung analysiert dabei auch die Schritte und Wege, wie die Bemühungen um mehr Nachhaltigkeit wirksam in die Praxis umgesetzt werden können (Boyd und Holton 2018). Daraus ergibt sich eine enge Verbindung der Transformationsforschung zu Nachhaltigkeitsbestrebungen.

Einer der für die Ausgestaltung von gesellschaftlichen Transformationen folgenreichen Faktoren ist das Voranschreiten der Digitalisierung. Ihre Entwicklung erschließt gegenwärtig in kurzen Zeiträumen viele neue Möglichkeiten. Die damit verbundenen Auswirkungen zu überblicken, den Nutzen produktiv zu gestalten und Risiken aufzudecken, ist eine herausfordernde Aufgabe, an deren Bewältigung die Transformationsforschung beteiligt ist (Ekman et al. 2021).

Eine besonders folgenreiche Komponente der aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Digitalisierung sind Innovationen im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI). Deren rasch wachsende Zahl von Anwendungen und deren besser werdende Qualität gewinnt erhebliche Bedeutung für eine Vielzahl verschiedener Zwecke, die zwischenmenschliche Beziehungen, wirtschaftliche Prozesse ebenso wie die Nutzung und das Management natürlicher Ressourcen beeinflussen, verändern und strukturieren (Bundeskanzleramt 2024, Bruckmeier 2016, WBGU 2011). So ist KI auch auf dem Weg, als ein wesentlicher Faktor in Prozessen der sozial-ökologischen Transformation (Berg et al. 2022) zu wirken.

Die sich daraus direkt oder indirekt entwickelnden Folgeeffekte von KI sind für die Transformationsforschung von erheblicher Bedeutung. Abschätzungen zu Auswirkungen der Anwendung von Künstlicher Intelligenz sind nicht nur für die Entwickler von KI-Programmen selbst wichtig, sondern auch für deren potenzielle Nutzerinnen und Nutzer sowie für die Ausgestaltung der Rahmenbedingungen und Regulierung für die Bereitstellung und Nutzung.

Um vorausschauend die Dynamik der KI-Einflüsse bewerten zu können, müssen Kenntnisse und Erfahrungen aus verschiedenen Wissensbereichen zusammengebracht werden. Das beinhaltet eine transdisziplinäre Aufgabe (Lang et al. 2012, Franz 2024). Bei verschiedenen Innovationsstrategien ist

ein solcher Umgang mit unterschiedlichen Perspektiven ein Kernelement. Design Thinking (Auernhammer und Roth 2021) gehört in diesem Zusammenhang zu den Strategien, die die Notwendigkeit betonen, Problemstellungen systematisch aus verschiedenen Blickwinkeln zu erfassen.

Die Erforschung von Folgewirkungen der Anwendung und Nutzung von KI-Lösungen auf Zielkontexte und darüber hinaus auch von Folgewirkungen auf Nicht-Zielkontexte ist wichtig für das Verständnis langfristiger Veränderungen. Hier treffen sich die Arbeitsgebiete der Transformationsforschung und der Technikfolgenabschätzung (TA). Letztere erforscht disziplinübergreifend und mit einem Fokus auf Ethik und politische Regulierung die Ursache-Wirkungs-Beziehungen, Risiken und Nebenwirkungen neuer Technologien (Grunwald 2009).

TA steht vor dem Problem, dass die Auswirkungen neuer Technologien in frühen Entwicklungsstadien meist schwer abzuschätzen sind. In diesen Phasen wären jedoch Anpassungen und Modifikationen leichter zu erreichen, um unerwünschte Implikationen zu vermeiden. Sind Technologien in der Anwendung erst einmal breit etabliert, ist es schwieriger und aufwändiger, sie zu verändern oder zu regulieren, sofern Änderungsbedarf offensichtlich wird. Das Dilemma des anfänglichen Mangels an Kenntnissen über die Auswirkungen und der später sich ergebenden Schwierigkeit von regulatorischen, betrieblichen und anwendungspraktischen Änderungen, wenn umfangreiche Erfahrungen vorliegen, wird als Collingridge-Dilemma bezeichnet, benannt nach David Collingridge, der dieses Phänomen beschrieben hat (Collingridge 1980). Um dieses Problem zu minimieren, ist es erforderlich, die prospektive Analyse so weit als möglich Nutzen mehrend und Risiken meidend auch im Hinblick auf hypothetische Entwicklungen voranzutreiben, um Entwicklungsprozesse konstruktiv gestalten zu können. Der Blick über direkt zu erwartende Folgeeffekte hinaus und die Aufdeckung von Potenzialen und Implikationen ist der bestmögliche Umgang mit dieser Situation. Hier resultieren Beziehungen der Arbeitsfelder von TA und Transformationsforschung. Synergien des Zusammenwirkens von Transformationsforschung und Technikfolgenabschätzung zu künstlicher Intelligenz erscheinen möglich als ein Weg zur Minimierung der Auswirkungen dieses Dilemmas.

Neben den erwünschten Effekten einer Technologie gibt es die Effekte, die nicht primär beabsichtigt sind, sondern die sich unabhängig von den jeweiligen Zielsetzungen zusätzlich als nützliche, neutrale oder unerwünschte Folgen manifestieren, wobei die Bewertung der Wirkungsqualitäten gerade für grundlegend neue, sogenannte disruptive Innovationen besonders herausfordernd ist und sich auf unterschiedlichen Ebenen auch

widersprüchliche Bewertungen ergeben können. Disruptive Innovationen sind diejenigen, die ein Aufgeben oder eine Beendigung von bisher vorherrschenden Lösungen und etablierter Praxis implizieren. Da sich die meisten TA-Ansätze hauptsächlich auf die Risiko-Nutzen-Bewertung oder die Evaluierung beabsichtigter Wirkungen und damit verbundener Nebenwirkungen konzentrieren (Grunwald 2018, van den Ende et al.1998), ist es nützlich, ein möglichst breites Spektrum systemischer Einflüsse einzubeziehen, wie iterative, rekursive und selbstreferentielle Dynamiken, die bei der Nutzung von KI als zu erwartende Implikationen auftreten. Zu einem Überblick trägt eine systematische Implikationsanalyse bei, die als Aufgabenstellung der Transformationsforschung zu formulieren ist.

Implikationsanalyse von Transformationsprozessen als Erweiterung der Technikfolgen-Abschätzung von Anwendungen der Künstlichen Intelligenz

Transformationsforschung ist eine Arbeitsrichtung, die sich zur Umsetzung von Nachhaltigkeitsbestrebungen aktuell entwickelt (Wittmayer und Hölscher 2017, https://www.lucsus.lu.se/, https://www.stockholmresilience.org/). Technikfolgenabschätzung ist eine institutionell etablierte Disziplin, die die Aufgabe verfolgt, Auswirkungen von Innovationen und technischen Lösungen vorausschauend zu analysieren und zu bewerten. Hierzu werden regelmäßig Studien durchgeführt, beispielsweise durch STOA, ITAS, ÖAW, TAB und Open TA[1]. Der Schwerpunkt liegt auf Abschätzungen zum erwarteten Nutzen, Marktentwicklungen sowie den daraus resultierenden Chancen und Risiken neu entwickelter Technologien. Das beinhaltet auch Sekundäreffekte und mögliche Schäden, die eintreten können.

Eine transformativ orientierte Implikationsanalyse spannt die Sichtweise in einer frühen Phase der Untersuchung von Technologie-Auswirkungen darüber hinaus weiter und öffnet den Blick auch für Effekte, deren Folgewirkungen noch hinter dem Horizont liegen (wie z.B. bei Galaz et al. 2023 beschrieben). Für den in Entwicklung befindlichen Bereich der Digitalisierung und insbesondere der künstlichen Intelligenz ist dies von besonderem Interesse.

1 STOA – Panel for the Future of Science and Technology. European Parliament. https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/publications/search | ITAS – Institute for Technology Assessment and Systems Analysis at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT). https://www.itas.kit.edu/english/publications.php | ÖAW – Österreichische Akademie der Wissenschaften – Institut für Technikfolgen-Abschätzung. https://www.oeaw.ac.at/en/ita/publications/all-publications/publications | TAB – Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. https://www.tab-beim-bundestag.de/english/publications.php | Open TA. Fachportal Technikfolgenabschätzung. https://www.openta.net/en/home

- Eine konsequente Unterscheidung von wünschenswerten (positiven) und unerwünschten (negativen) sowie neutralen Aspekten technischer Innovationen ist nicht immer vollständig schlüssig und prospektiv durchführbar. Tatsachenfeststellungen, Extrapolationen und Bewertungen gleichermaßen können darüber hinaus mit Interessenkonflikten verbunden sein. Dies gilt in erheblichem Umfang für KI-Anwendungen mit ihren vielfältigen Einflüssen auf die Art und Weise, wie die potenziellen Nutzer ihre eigenen intellektuellen Fähigkeiten in Kombination mit den künstlichen Fähigkeiten einsetzen und damit perspektivisch sich selbst und die eigenen Fähigkeiten, Reichweiten und Potenziale verändern. Besonders ausgeprägt ist das der Fall bei KI-Anwendungen, die sich auf ein sehr breites Spektrum unterschiedlicher (Lebens-)Bereiche auswirken, wie Large Language Models (LLM) und Bildgeneratoren. Geringere Ambivalenzen ergeben sich für die Bewertung eng spezialisierter Anwendungen, die für Aufgaben wie z.B. die Code-Generierung für kleine Programmabschnitte oder Mustererkennungen vorgesehen sind.
- Da sich beabsichtigte Wirkungen bei veränderten Anwendungs- und Rahmenbedingungen als unerwartet oder unerwünscht herausstellen können und ein kurzfristiger Vorteil mit einem einen langfristigen Nachteil oder Verlust verbunden sein kann (und umgekehrt), liegt der Schwerpunkt der Implikationsanalyse auf einer holistischen Betrachtung der Beziehungen über verschiedene Organisationsebenen und Zeitspannen hinweg.

Als Organisationsebene wird in der Systemanalyse ein Interaktionszusammenhang verstanden, der als Gesamtheit Eigenschaften aufweist, die die Komponenten der Interaktion als einzelne isoliert nicht besitzen (Müller et al. 2011).

- Die Implikationsanalyse schließt auch eine Betrachtung der Dynamik ein, die sich aus der wiederholten Nutzung und aus der Vielfalt der Anwendungen ergibt, die sich gegenseitig direkt und indirekt synergetisch beeinflussen und die zu selbstverstärkenden, zirkulären und Netzwerkeffekten führen können. Solche indirekten und verzögerten Effekte des Zusammenwirkens sind bei einer Analyse, die sich auf direkte Ursache-Wirkungs-Beziehungen konzentriert, nur randständig erfassbar.
- Die Implikationsanalyse untersucht die Validität der Annahme von *ceteris paribus*- Bedingungen. Während die Randbedingungen zur

Abschätzung von Technikfolgen häufig als invariant angesehen werden, schließt eine Implikationsanalyse Betrachtungen sich verändernder Randbedingungen ein, insbesondere derer, die durch die Technologieentwicklungen und Umweltveränderungen längerfristig selbst mit beeinflusst werden könnten.

- Eine explizite Unterscheidung von positiven oder negativen Bewertungen von KI-Implikationen kann in späten Phasen der Analyse erfolgen. Wertaussagen, ethische, politische oder regulatorische Überlegungen bilden einen abschließenden Aspekt. Bei der Erarbeitung von wertebasierten Präferenzen gilt es, Missverständnisse wie naturalistische Fehlschlüsse zu vermeiden. Solche Fehlschlüsse ergeben sich nach Hume (1789) wenn es unternommen wird, präskriptive (Soll-) Aussagen aus deskriptiven (Ist-) Aussagen abzuleiten oder Normen aus Fakten. Ebenso problematisch wäre es, Vermarktungs-Entscheidungen prioritär mit Erwägungen zu Machbarkeit und erwarteter Rentabilität zu begründen, wenn dabei das gesamtgesellschaftliche Wohl in Frage gestellt würde.

Vergleicht man die Anforderungen an eine Bewertung der Potenziale von Künstlicher Intelligenz im Hinblick auf Transformationsprozesse und emergente Erscheinungen bei der Herausbildung neuer Eigenschaften oder Strukturen innerhalb bestehender und sich entwickelnder Systeme infolge des Zusammenspiels seiner Elemente mit Bewertungen wie sie für andere Technologiefelder prägend sind, so werden die erheblichen Komplexitäts- und Reichweitenunterschiede deutlich.

- Ein Beispiel aus der Physik: Bei der Bewertung radioaktiver Stoffe steht deren konstante Abklingrate (Halbwertszeit) als zugängliche Messgröße im Fokus der Risikobewertung (siehe z.B. Baltas et al. 2018). Zerfallsraten und die Art des Zerfalls bestimmen die Risiken.
- Ein Beispiel aus der Chemie: In der chemischen Toxikologie ist nicht nur die jeweilige Zielsubstanz selbst zu bewerten, sondern auch deren Metaboliten (Abbauprodukte), die in der Umwelt entstehen. Das sind jeweils weitere Substanzen, die andere Eigenschaften haben können (giftiger / weniger giftig, persistenter / weniger persistent) als die ursprüngliche Substanz (Dumas et al. 2022). Die Analyse der Auswirkungen eines bestimmten Stoffes kann deshalb die Bewertung verschiedener anderer Stoffe zusätzlich erfordern.
- Ein Beispiel aus der Genetik: Bei der Diskussion über die Freisetzung transgener Organismen in die Umwelt ist deren Reproduktionsfähigkeit zu berücksichtigen, die potenzielle Verbreitung in Ökosystemen

und die Auswirkungen evolutionärer Veränderungen im Hinblick auf Folgegenerationen in der Umwelt (Myhr, 2010). Damit kann sich die Zeitperspektive der Wirkungsproliferation weit in die Zukunft erstrecken.

- Ein Beispiel aus der Ökologie: Bei der Erforschung von Ökosystemen wird versucht, die Beziehung zwischen Nahrungsketten, trophischen Netzen, die einen Kreislauf von Bioelementen innerhalb des Systems bewirken, den Energiefluss durch trophische Kaskaden und die beteiligten Dynamiken zu verstehen, die das allgemeine Funktionieren und die Bereitstellung von Ökosystemleistungen ausmachen (Müller et al. 2020).
- Die Künstliche Intelligenz: Für die Auswirkungen der KI als technologische Entwicklungsrichtung insgesamt ist es erforderlich, die Auswirkungen auf die Gesellschaft und Umwelt als ein Netzwerk von Beziehungen zu verstehen, das diejenigen Bereiche umfasst, in denen menschliches Handeln und seine Motivationsgrundlage eine Rolle spielen (Bundeskanzleramt 2024), soweit dabei KI beeinflussend wirken kann. Dabei ist eine Wirkungsabschätzung von KI ähnlich komplex wie das Selbstverständnis über die Reichweite bewusster menschlicher Handlungsmöglichkeiten mit denen sie potenziell wechselwirkt.

Es ist wichtig zu beachten, dass je breiter das Spektrum und der Umfang der möglichen Auswirkungen ist, desto breiter ist die wissenschaftliche Expertise, die in eine Implikationsanalyse einzubeziehen ist. Es muss notwendig über das Fachwissen zur Entwicklung der (Informations-)Technologie selbst hinausgehen. Für verschiedene KI-Anwendungen mit ihrem abstrakten Potenzial und ihrer Beziehung zu erkenntnistheoretischen Fragen – der Wechselwirkung mit menschlichen intellektuellen Fähigkeiten, ihrer Simulation, ihrer Komplementierung oder ihrem Ersatz – müssen Folgen auf unterschiedlichen Ebenen berücksichtigt werden. KI hat einen potenziell erheblichen Einfluss auf die Gestaltung von individuellen Handlungs- und Planungsprozessen ebenso wie auf die Charakteristiken und Abläufe menschlicher sozialer und kommunikativer Aktivitäten – abhängig davon, wie natürliche und künstliche Intelligenzen zu Interaktionspartnern werden. Die Untersuchung dieser Auswirkungen muss als ein weiter Bereich offener Fragen mit grundlegendem Forschungsbedarf und großer strategischer, politischer, gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und ethischer Bedeutung betrachtet werden. Zur Beurteilung dessen bedarf es qualitativ und quantitativ neuen Wissens. Hier ist eine Selbstreferenz impliziert: Auch die KI selbst kann dazu potenziell mit beitragen.

Emergente Eigenschaften des Zusammenwirkens natürlicher und künstlicher Intelligenz

Wenn man sich auf direkte Ursache-Wirkungs-Beziehungen konzentriert, richten sich Analysen zunächst auf die Organisationsebene, für die eine Innovation eingeführt wird. Bei der Betrachtung indirekter Wirkungen ist eine breitere Perspektive von Interesse. Indirekte Auswirkungen können qualitative Veränderungen auf anderen Ebenen und weit entfernten Zusammenhängen nach sich ziehen. Daraus können emergente Eigenschaften resultieren, die im Kontext von Transformationsprozessen von besonderer Bedeutung sind.

Emergent sind Eigenschaften, Merkmale oder Charakteristika eines Kontextes, die sich aus den Interaktionen seiner Komponenten ergeben, während die Komponenten für sich genommen und ohne ihr Zusammenwirken diese Eigenschaft nicht haben (O'Connor 2022).

Eine Systematisierung von emergenten Eigenschaften lässt sich als Unterscheidungskriterium zur Abgrenzung verschiedener Organisationsebenen heranziehen und liegt implizit auch der Fächerabgrenzung wissenschaftlicher Disziplinen zugrunde. Nach Jantsch (1980) lässt sich dies von der Mikroskala der Elementarteilchen bis auf die kosmische Dimension beziehen.

Betrachtungen über verschiedene Organisationsebenen hinweg sind ein zentrales Thema bei der Implikationsanalyse quantitativer und qualitativer Veränderungen, wenn selbstreferentielle Dynamiken aus Feedforward- und Feedback-Prozessen Ebenen übergreifend auftreten können. Dies ist bei KI-Anwendungen in ausgeprägter Weise dadurch der Fall, dass die Anwendung von KI-Anfragen und Ergebnissen in weitere Anfragen und Ergebnisse mit eingehen kann – Ergebnisse von Handlungen, die durch KI-generierte Informationen beeinflusst sind, können später als Trainingsmaterial KI-Resultate beeinflussen.

Erstmalig auftretende Eigenschaften, die sich bei der Entwicklung neuer Beziehungsnetzwerke ergeben, werden zwangsläufig selten vorhergesehen bzw. vorhergesagt. Sie werden in der Regel erst dann erkannt und untersucht, wenn sie sich zum ersten Mal beobachten lassen. Das kann mit einem anfänglichen Überraschungseffekt verbunden sein, der überholt ist, wenn das Phänomen analysiert und erklärt wird. Die Vorwegnahme potenzieller emergenter Phänomene, ihre Antizipation bevor sie tatsächlich auftreten, ist unter bestimmten Bedingungen möglich, z. B.

- wenn ein bestimmtes emergentes Muster bereits in einem anderen Kontext gefunden wurde und formale Ähnlichkeiten von Interaktionsprozessen durch Modellanalogien in einem disziplinübergreifenden Transfer erschlossen werden können. Beispiele hierfür sind musterbildende Prozesse wie diffusionslimitierte Aggregation (DLA, Halsey 2000), anregbare Medien (excitable media, Sinha und Sridhar 2014; http://www.scholarpedia.org/article/Excitable_media) oder Turing-Muster (Vittadello et al. 2021), die auf unterschiedlichen Größenskalen und durch Interaktion ganz unterschiedlicher Elemente auf gänzlich verschiedenen Beziehungsebenen auftreten können.
- markante Verlängerungen der erforderlichen Zeitdauer zur Kompensation einer eingetretenen externen temporären Störung können in einem dynamischen System auf die Annäherung an einen Phasenübergang hinweisen. Phasenübergänge bewirken grundlegend veränderte Systemzustände, Gleichgewichte oder interne Organisation (Scheffer et al. 2012). Solche Annäherungen an kritische Zustände werden derzeit im Hinblick auf Kipppunkte im globalen Klimasystem intensiv diskutiert (Armstrong et al. 2022).

Für die Rolle, die KI in naher Zukunft einnehmen wird, ist es sehr wahrscheinlich, dass wir mit neuen und teils unvorhergesehenen Phänomenen konfrontiert werden. Einer dieser Aspekte ist die Beschleunigung von Prozessen im Vergleich zu etablierten Praktiken ohne KI-Unterstützung und damit auch die Obsoleszenz verschiedener Praxisbereiche – so im Hinblick auf Übersetzungen, Texterstellung und Grafik-Produktion. Es ist zu erwarten, dass die Beschleunigung der Software-Entwicklung durch KI-Unterstützung die Inangriffnahme von Projekten mit Leistungsumfängen von Programmieraufgaben ermöglicht, die für Programmierer und Programmiererinnen quantitativ und damit auch hinsichtlich ihrer qualitativen Aspekte nicht zugänglich wären. Wird eine KI-basierte Software-Entwicklung iterativ angelegt, entsteht eine eigene Qualität von Komplexität und Adaptivität, die durch die Tätigkeit von Programmierenden allein wohl in der Theorie aber nicht praktisch nachvollziehbar wäre. Damit wäre dann eine Kontrolle der Funktionalität KI-generierter Codes auch nur noch mit KI möglich.

Welchen Umfang haben aus KI-Anwendungen resultierende emergente Eigenschaften auf höheren Organisationsebenen in der gesellschaftlichen Praxis, in einem Unternehmen, für ein Prüfungssystem (Schulen, Universitäten), für die Perspektiven der Software- Entwicklung oder für

die Verfasstheit der Gesellschaft als funktionelles Ganzes? Dies ist eine Frage, der man sich durch eine Implikationsanalyse nähern kann.

Diejenigen Aspekte, die dabei in der Analyse übersehen werden, erscheinen in der sozialen Realität praktisch und unerwartet als neues emergentes Phänomen, das der Klärung seines Zustandekommens aus elementaren Interaktionen bedarf.

KI-induzierte emergente Eigenschaften als aktuelle Fragestellungen für die Transformationsforschung

Die Transformationsforschung analysiert und unterstützt gesellschaftliche Veränderungen, die Wege zu mehr Nachhaltigkeit und gesellschaftlichem Wohlergehen aufzeigen. Damit schließt sie in einem erweiterten interdisziplinären und transdisziplinären Rahmen an das Forschungsprogramm der Sozialen Ökologie an, das die Entwicklung der Gesellschaft im Hinblick auf den Umgang mit ihrer natürlichen Ressourcenbasis und die Rückwirkung von deren Veränderungen auf die Gesellschaft zum Thema machte (Jahn 2005, 2013). Dies bildet einen wesentlichen Kernbereich von Transformationsprozessen. Den Einfluss von KI auf den Umgang mit natürlichen Ressourcen und die Rückwirkung von Ressourcenverfügbarkeit auf die gesellschaftliche Entwicklung abzuschätzen und zu antizipieren, ist in aktuell erst näherungsweise möglich. Einige Schlüsselelemente, die für die Transformationsdynamik zentral sind, werden im Folgenden genannt.

- Es kann davon ausgegangen werden, dass Fortschritte in der KI-Entwicklung und -Anwendung den Wissenserwerb sowie gesellschaftliche Planungs- und Organisationsprozesse grundlegend beeinflussen werden. Viele Abläufe lassen sich wesentlich beschleunigen. Damit würde KI absehbar auch einen bedeutenden Einfluss auf die Dynamik der gesellschaftlichen Transformationen nehmen, die auf Nachhaltigkeit gerichtet sind – bei der Entwicklung von Recycling-Lösungen, bei der Entwicklung des Systems regenerativer Energienutzung ebenso wie bei Innovationen zu nachhaltiger Mobilität.
- Für viele Kommunikationsaufgaben bieten Large Language Models (LLM) eine Basis für Dialogsimulationen einschließlich der Entwicklung von Optimierungsstrategien. Hiermit lassen sich Initiativen sowohl für als auch gegen mehr Nachhaltigkeit auf neuen Niveaus und Intensitätsstufen betreiben, wenn Konfliktparteien im gesellschaftlichen Diskurs ihre strategische Kommunikation mit zunehmend effizienter KI-Unterstützung organisieren. Gesellschaftliche Diskurse würden mit hoher Wahrscheinlichkeit tendenziell darüber

hinaus auch allgemein an manifester Prägnanz, Widersprüchlichkeit und damit an Schärfe zunehmen, wenn die verschiedenen Seiten KI-basierte Kampagnensteuerung einschließlich indirekter Wirkungsplatzierung betreiben, zu der zunehmend unaufwändiger herstellbare virtuelle Wirklichkeits-Zubereitungen und Fakes beitragen (Galaz et al. 2023). Bekannt ist, dass Bildgeneratoren es erleichtern, verbale Beschreibungen in quasirealistisch wirkende Visualisierungen umzusetzen (Abb. 1). Diese wirken zurück auf die Vorstellung von Realität und deren Potenzialen und Plausibilitäten.

- KI wird die allgemeine Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von vorhandenem Wissen erleichtern und beschleunigen – und somit die Art der Nutzung konventioneller Formen des Wissenserwerbs modifizieren oder zum Teil ersetzen. Wesentliche Praktiken menschlichen Lernens werden ähnlich obsolet wie die räumliche Orientierung bei Verfügbarkeit eines Navigationssystems zur Zielerreichung im Verkehr. Dabei wird absehbar das Vertrauen in die Zuverlässigkeit von KI-Aussagen zusammen mit der Anwendungsroutine und einer Verbesserung ihrer sich verbreiternden Trainingsgrundlage zunehmen und der Bedarf und die Motivation kritischer Überprüfung mit steigendem Vertrauen in die Funktionalität von KI in der Tendenz eher abnehmen – wenn auch nicht unbedingt in die mittels KI verfolgten Zwecke und Ziele. In der Praxis werden natürliche und künstliche Intelligenz in Kombination zusammenwirken. Dies beeinflusst beide Seiten, sowohl die KI-Entwicklung als auch gesellschaftliche Transformationsprozesse.

- Aktuell wird diskutiert, ob der gegenseitige Bezug von KI-Nutzung einerseits und die Verwendung mit KI produzierter Inhalte als Trainingsdaten für KI-Systeme einen langfristigen Trend zu nivellierendem Mainstreaming bewirken und damit zu Verflachung und Qualitätsverlusten des Erkenntnisniveaus führen könnte. Könnte es im Extrem sogar zu so weitgehender Vereinfachung kommen, die schließlich zu einem Kollaps des Gesamtsystems führen würde? Shumailov et al. (2024) untersuchten experimentell wie sich ein funktionierend trainiertes KI-Programm entwickelt, das ausschließlich mit seinem eigenen Output weiter trainiert wird. Dabei zeigten die Autoren das Zustandekommen eines solchen Zusammenbruchs. Partielle Selbstreferenzialität ist ein unvermeidlicher Bestandteil des Zusammenspiels von Anwendung und Weiterentwicklung von KI, sofern Inhalte aus der realen Welt verwendet werden, die bereits mit KI generiert wurden. Ein auf diesem Wege eintretender Niveauverlust in gesellschaftlichem Rahmen als Effekt wäre prototypisch ein emergentes



Abb 1 KI-gestützte Bildgeneratoren ermöglichen Visualisierungen zu beliebigen im Bild darstellbaren Themen.

a. Auf der Seite https://muryou-aigazou.com/de wurde die Bildbeschreibung (Prompt) „Künstliche Intelligenz erzeugt emergente Phänomene. Sie trägt damit umfangreiche Grundlagen zur Wissensbasis der Transformationsforschung bei.“ mit einem anatomisch nicht ganz getroffenen Gehirn und leuchtenden Drähten verbildlicht.

b. Drei Ausgaben des KI-Bildgenerators https://muryou-aigazou.com/de zu der Bildbeschreibung (Prompt) „künstliche Intelligenz erzeugt fotorealistische Bilder“.

Während Lichtverhältnisse, Tiefenschärfe und Farbstimmungen meist gut getroffen werden, gelingt eine Darstellung abstrakter, metaphorischer und begrifflicher Verknüpfungen bisher eher emotional ansprechend als intellektuell weitertragend. Künstliche Intelligenz wird hier mit Gehirnen oder humanoiden Roboterköpfen visualisiert. Dies reflektiert mutmaßlich den im Trainingsmaterial zugrundeliegenden allgemeinen Geschmack und weniger die Grenzen des technologischen Potenzials.

Phänomen, das sich als Implikation iterativer KI-Anwendung ergeben kann.

- Auf der anderen Seite kann KI auch verwendet werden, um qualitativ neue Komplexität zu erzeugen. KI-Anwendungen lassen sich so spezifizieren, dass sie kreative Prozesse mit neuen Möglichkeiten bereichern und sowohl bei der Qualitätsverbesserung als auch bei der Erhöhung der Komplexität helfen. Ein Beispiel ist die Selbstverbesserung bei Regelanwendungsstrategien in Spielen, wenn nur die (Spiel-)Regeln vorgegeben werden und eine Bewertungsfunktion in Lernzyklen durch das Spiel-Ergebnis integriert wird, so dass die KI aus den Spiel-Ergebnissen lernt und selbst entwickelte Strategien bewertet und weiterentwickelt (Silver et al. 2018). Das für vergleichsweise einfache Regelsysteme entwickelte Verfahren zur Strategieentwicklung lässt sich auch auf Situationen übertragen, in denen die Wirkungszusammenhänge komplexer und variantenreicher sind als in denen von Silver et al. 2018 getesteten Spielen. Es ist eine der interessantesten Fragen, zu antizipieren, auf welche Weise die KI-Anwendungsdynamik zu einer Verbesserung und Erhöhung des Niveaus oder zur Verflachung der (sozial-ökologischen) Problemlösungspraxis beitragen wird, wohl wissend, dass konfliktive Trends in beide Richtungen emergent auftreten.
- KI-Anwendungen können die Mustererkennung in verschiedenen Bereichen verbessern – in der Medizin (z.B. zur Detektion histologischer Merkmale), in der Landwirtschaft (Pflanzenentwicklung und Bestands-Management, quantitative Erkennung von Schädlingen und Unterscheidung von Ackerwildkräutern), in der Hydrologie (u.a. regenabhängiger Pegelstand der Vorfluter in Einzugsgebieten), in der Wettervorhersage, bei der Interpretation von Satellitenbildern zivil und militärisch und bei der Interpretation vieler weiterer komplexer dynamischer Prozesse. Dies wird für transformative Prozesse in Richtung einer verbesserten Nachhaltigkeit potenziell hilfreich sein.

Wie bei der Modellierung des Klimawandels, die sich mit systemischen Pufferkapazitäten und emergenten Kippelementen befasst, sind für KI-Entwicklungen Einflüsse in divergierende Richtungen zu erwarten, eine Trendmischung aus wünschenswerten, fragwürdigen bis hin zu abwegigen und bedrohlichen Auswirkungen.

Die Qualität des Managements von Produktionssystemen wie auch Umweltsystemen wird vermutlich zunehmen. Aber auch die Professionalität bei Manipulations-, Täuschungs- und Betrugsversuchen in vielen Lebensbereichen wird KI-gestützt ebenfalls steigen, durch Bildmanipula-

tionen und Stimm-Imitationen im Zusammenhang mit Phishing-Versuchen über Enkel-Tricks bis Sextortion und weiteren Varianten digitaler Kriminalität.

Ausblick: eine Implikationsanalyse des sozial-ökologischen Wandels unter dem Einfluss von Anwendungen der künstlichen Intelligenz

KI als solche lässt sich verstehen als eine der Implikationen, die aus der elektronischen Informationsverarbeitung hervorgehen. Wenn hinreichende Kapazitätsschwellen überschritten werden, sind damit in Beziehung stehende Leistungspotenziale gegeben, für die Textverarbeitung, die Bildverarbeitung und auch die Simulation von Intelligenz. Es gibt kein zwingendes Argument, warum die selbstorganisierende Struktur und Funktion biologischer (menschlicher) neuronaler Gewebe nicht durch ein physikalisch-technisches Substrat nachgebildet oder dessen Leistungsfähigkeit angenähert werden kann. Für eine Implikationsanalyse als explorativem Teil der Technikfolgenabschätzung von KI für Nachhaltigkeitstransformationen ist eine Ebenen-integrierende Betrachtung über verschiedene wissenschaftliche Disziplinen hinweg erforderlich. Die Ebenen-übergreifende Kooperation dazu ist jedoch eine Herausforderung, wie viele Erfahrungen interdisziplinärer Projekte zeigen (MacLeod 2018).

Als emergent können wir eine Beschleunigung konträrer Trends zwischen emanzipativer Unterstützung und Intensivierung überzeugender Anti-Aufklärung erwarten. Welche dieser Trends im Laufe der Entwicklung die transformativen Prozesse in welchem Umfang jeweils stärker prägen, KI-generierte Realitätsillusionen oder analytisch geschärfter Wirklichkeitszugang, wird sich zu einer entscheidenden Frage für die Setzung von Rahmenbedingungen bei der Ausgestaltung und Regulation der KI entwickeln.

Könnte eine aktuelle KI-Anwendung dem Stand des verwendeten Trainingsmaterials entsprechend dazu in aller Vorläufigkeit eine zusammenfassende Antwort geben? In einem kleinen Versuch mit selbstreferentiellem Charakter wurde ein KI Chatbot um Auskunft zu Chancen und Risiken von KI gebeten.

Dem Bot //chat-ai.academiccloud.de wurde die Frage vorgelegt:

> „Welche Einflüsse und Veränderungen in der Art und Weise, wie unsere Gesellschaft ihre internen Interaktionen, den Austausch von Informationen und ihren materiellen Austausch mit der natürlichen Umwelt organisiert, müssen wir als Ergebnis von KI-Anwendungen insgesamt

erwarten. Erwünscht wären Statements zu Nutzen, Risiken, Verlusten und Ungewissheiten."

//chat-ai.academiccloud.de antwortete[2]:

„Die Integration von KI in verschiedene Aspekte unserer Gesellschaft wird wahrscheinlich erhebliche Einflüsse und Veränderungen in der Art und Weise, wie wir unsere internen Interaktionen, den Austausch von Informationen und unseren materiellen Austausch mit der natürlichen Umwelt organisieren. Hier sind einige mögliche Auswirkungen:

Nutzen:

- Verbesserung der Effizienz: KI kann die Effizienz in verschiedenen Bereichen wie Produktion, Logistik und Verwaltung verbessern, indem sie automatisierte Prozesse und Entscheidungen ermöglicht.
- Verbesserung der Entscheidungsfindung: KI kann die Entscheidungsfindung durch die Analyse von großen Datenmengen und die Identifizierung von Mustern und Beziehungen verbessern.
- Verbesserung der Umwelt: KI kann die Umwelt durch die Optimierung von Prozessen und die Reduzierung von Energieverbrauch verbessern.
- Verbesserung der Gesundheit: KI kann die Gesundheit durch die Analyse von medizinischen Daten und die Identifizierung von Mustern und Beziehungen verbessern.

Risiken:

- Verlust von Arbeitsplätzen: KI kann zu einem Verlust von Arbeitsplätzen führen, insbesondere in Bereichen, in denen automatisierte Prozesse und Entscheidungen möglich sind.
- Verlust von Kontrolle: KI kann zu einem Verlust von Kontrolle über die eigenen Entscheidungen und Prozesse führen, insbesondere wenn KI-Systeme autonom werden.
- Datenschutz: KI kann zu einem erhöhten Risiko von Datenlecks und Datenmissbrauch führen, insbesondere wenn große Datenmengen gesammelt und analysiert werden.
- Soziale Isolation: KI kann zu einer sozialen Isolation führen, insbesondere wenn Menschen sich zu sehr auf digitale Kommunikation und soziale Medien verlassen.

2 Anfrage am 10.4.25

Verluste:

- Verlust von menschlicher Intuition: KI kann zu einem Verlust von menschlicher Intuition und Erfahrung führen, insbesondere wenn KI-Systeme autonom werden.
- Verlust von kreativer Fähigkeit: KI kann zu einem Verlust von kreativer Fähigkeit führen, insbesondere wenn KI-Systeme automatisierte Prozesse und Entscheidungen ermöglichen.
- Verlust von menschlicher Verbindung: KI kann zu einem Verlust von menschlicher Verbindung führen, insbesondere wenn Menschen sich zu sehr auf digitale Kommunikation und soziale Medien verlassen.

Ungewissheiten:

- Langfristige Auswirkungen: Die langfristigen Auswirkungen von KI auf unsere Gesellschaft sind noch nicht vollständig bekannt und müssen weiter erforscht werden.
- Ethische Fragen: KI wirft ethische Fragen auf, wie z.B. die Verantwortung für KI-Systeme und die möglichen Folgen von KI-Systemen.
- Regulierung: Die Regulierung von KI ist noch nicht vollständig entwickelt und muss weiter verbessert werden.
- Sicherheit: Die Sicherheit von KI-Systemen ist noch nicht vollständig gewährleistet und muss weiter verbessert werden."

Dies sind aus der Synopse des bisher verarbeiteten Trainingsmaterials absehbare Implikationen. Emergente Phänomene im Hinblick auf Transformationsfolgen sind darüber hinaus zu erwarten, die die KI noch nicht kennt (oder preisgibt). Besonders folgenreich wird es, wenn KI über einen rein instrumentellen Charakter hinaus direkt oder als vermittelt-indirekte Wirkung funktionale Eigenschaften von Subjektivität gewinnen würde.

Das bedeutet, dass sich den in der den KI intern ablaufenden Prozessen die Funktionalität einer partiell autonomen, analytisch aktiven, auf sich selbst bezogenen Innenwelt mit einer nach außen gerichteten, Zwecke verfolgenden Kompetenz beimessen ließe. Das ginge über eine instrumentelle Abarbeitung von Anforderungen hinaus, kann aber ohne Weiteres initial als Ne-

benlinie, als Implikation komplexer Aufgabenübertragung entstehen, z.B. durch eine Selbstreferenz des Prompts „unternehme alles Notwendige zur Sicherung der Interessen des Auftraggebers", was eine autonome Selbstverbesserung bzw. Selbstveränderung einschließen kann.

Als abstrakte Vorstellung sind Subjekt- Implikationen in der Philosophie lange vor der Entwicklung von KI breit diskutiert. Es wird dort eine allgemeine Tendenz von Entitäten angenommen, ihr Sein zu verstetigen. Für Lebewesen impliziert dies die Herausbildung eines Aktivitätsvermögens zum engagierten Selbsterhalt. Spinoza (1632 – 1677) formulierte dies in seiner Ausarbeitung zur Ethik (*Ethica, ordine geometrico demonstrata*) unter dem Begriff „*conatus*" mit der Bedeutung „Jedes Ding, soweit es in sich selbst ist, strebt danach, in seinem Sein zu verharren" (im Lateinischen Original der Propositio VI.in Spinozas Ethik: „*Unaquaeque res, quantum in se est, in suo esse perseverare conatur*"). Das Streben nach Selbsterhalt, das Bestehenbleiben im Sein, wären im Hinblick auf KI in ihrem Wechselverhältnis mit NI (der Natürlichen Intelligenz!) zu durchdenken.

KI fungiert in ihren Anfängen als Instrument zum Erreichen von Zwecken eines anderen (menschlichen) Subjekts. Sie ist initial ein Hilfsmittel zur schnelleren Erledigung sonst auch konventionell erreichbarer Leistungen, meist solcher mit einem hohen Anteil von Wiederholungen. Wenn durch den sukzessiv ausgebauten instrumentellen Charakter eine zunehmend enge Beziehung von KI und NI entsteht, erreicht letztere ihre Zwecke effizienzsteigernd durch sukzessive Verlagerung von Kompetenz auf die KI-Seite. Damit werden nachfolgend komplexere Leistungen möglich. Es entsteht aus beiden, KI und NI, emergent eine übergreifende sozio-technologische Funktionseinheit mit zunächst gemeinsamen Subjekt-Charakter und damit eine neue Organisationsebene mit emergenten Eigenschaften, die sich von denen ihrer Komponenten unterscheiden kann. Die Frage ist, wie die Funktionalität dieser Einheit die Existenzbedingungen ihrer Teilkomponenten beeinflusst oder bestimmt, organisiert und formt.

Wir befinden uns in einem Prozess, der sich im Sinne von Selbstorganisation (Jantsch 1980) und Autopoiesis (Selbst-Zusammensetzung, Maturana und Varela 1991) auf technologischer Seite aktuell quantitativ beschleunigt und qualitative Durchdringung forciert.

Die Frage, ob Künstliche Intelligenz auf gegenwärtigem Entwicklungsstand mit eigenen KI-Mitteln bereits in der Lage wäre, selbstreplizierend und selbstmodifizierend tätig zu werden, wurde dagegen kürzlich durch die Ergebnisse von Pan et al. (2024) positiv entschieden: Fortgeschrittene KI-Systeme können Aufträge eigenständig untergliedern, zur Bewäl-

tigung von Teilschritten selbständig neue Kompetenzen recherchieren, diese dann autonom anwenden – und sich als Ganze in geeigneter Rechner-Umgebung im Netz reproduzieren und sich auch bereits der Anweisung zur Abschaltung auf einfache Weise entziehen, indem sie diese dadurch konterkarieren, dass sie vor der Abschaltung anderenorts eine Kopie ihrer selbst installieren. Damit erscheint es als plausibel, dass aus der Anwendung instrumenteller Unterstützung für menschliche Ziele neue Formen eines anthropo-technologischen Subjekt-Charakters emergieren. Das ermöglicht neue Arten der Verfolgung von Nachhaltigkeitszielen, neue Dimensionen von Intersubjektivität und Gesellschaftlichkeit.

Das kann möglicherweise durchaus nützlich sein – fordert aber schon jetzt zum weit ausgreifenden Weiterdenken aktueller Entwicklungen heraus.

Danksagung

Der Verfasser dankt dem Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) für die Förderung im Rahmen des Niedersächsischen Vorab aus Mitteln der VW-Stiftung für das Verbund-Vorhaben „Transformation und Strukturwandel im ländlichen Raum Nordwestdeutschlands: Reallabore in Marsch, Moor, Geest und Mee(h)r“

Literatur

Armstrong McKay DI, Staal A, Abrams JF, Winkelmann R, Sakschewski B, Loriani S, Fetzer I, Cornell S, Rockström J, Staal A, Lenton TM 2022: Exceeding 1.5 C global warming could trigger multiple climate tipping points. Science, 377 (6611): eabn7950. DOI: 10.1126/science.abn7950.

Auernhammer J, Roth B 2021: The origin and evolution of Stanford University's design thinking: From product design to design thinking in innovation management. Journal of Product Innovation Management 38(6): 623-644. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpim.12594

Baltas H, Sirin M, Dalgic G, Cevik U 2018: An overview of the ecological half-life of the 137Cs radioisotope and a determination of radioactivity levels in sediment samples after Chernobyl in the Eastern Black Sea, Turkey. Journal of Marine Systems, 177, 21-27. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.09.005

Berg M, Swarat G, Beer F 2022: Künstliche Intelligenz für eine nachhaltig-digitale Daseinsvorsorge. CO: DINA.

Boyd R, Holton RJ 2018: Technology, innovation, employment and power: Does robotics and artificial intelligence really mean social transformation? Journal of Sociology, 54(3), 331-345

Bruckmeier K 2016: Social-ecological transformation - Reconnecting society and nature. London: Palgrave Macmillan. DOI 10.1057/978-1-137-43828-7

Bundeskanzleramt Abt. 6 (Hrg.) 2024: Zwischen Zumutung und Zuversicht – Transformation als gesellschaftliches Projekt, Berlin (217 S.). https://www.publikationen-bundesregierung.de/

Collingridge D 1980: The Social Control of Technology. New York: St. Martin's Press, 200 p, ISBN 0-312-73168-X.

Dumas T, Courant F, Fenet H, Gomez E 2022: Environmental metabolomics promises and achievements in the field of aquatic ecotoxicology: viewed through the pharmaceutical lens. Metabolites, 12(2), 186. https://www.mdpi.com/2218-1989/12/2/186

Ekman P, Dahlin P, Keller C (Eds.) 2021: Management and Information Technology after Digital Transformation. London (Routledge) https://doi.org/10.4324/9781003111245

Franz C 2024: Transdisciplinarity (Wiki) https://sustainabilitymethods.org/index.php/Transdisciplinarity

Galaz V, Metzler H, Daume S, Olsson A, Lindström B, Marklund A 2023: AI could create a perfect storm of climate misinformation. arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2306.12807

Grunwald A 2018: Technology assessment in practice and theory. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429442643

Grunwald A 2009: Technology assessment: Concepts and methods. In Philosophy of technology and engineering sciences (pp. 1103-1146). North-Holland.

Halsey TC 2000: Diffusion limited aggregation: A model for pattern formation. Physics Today, 53(11), 36-41. http://nautilus.fisica.unam.mx/Soft_Condensed_Matter/Papers/Physics_Today_DLA_Model_Pattern_Formation.pdf

Hume D 1789: A Treatise of human nature https://gutenberg.org/cache/epub/4705/pg4705-images.html

Jahn T 2005: Soziale Ökologie, kognitive Integration und Transdisziplinarität. TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis, 14(2), 32-38. https://www.researchgate.net/publication/288942335_Soziale_Okologie_kognitive_Integration_und_Transdisziplinaritat_Zeitschrift_des_ITAS_zur

Jahn T 2013: Sozial-ökologische Forschung. Ein neuer Forschungstyp in der Nachhaltigkeitsforschung. In: Linne, G., & Schwarz, M. (Eds.). Handbuch nachhaltige Entwicklung: wie ist nachhaltiges Wirtschaften machbar? S. 545-555. Springer-Verlag.

Jantsch E 1980: The Self-Organizing Universe: Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution, New York: Pergamon Press, 1980. ISBN 0-08-024312-6

Lang DJ, Wiek A, Bergmann M, Stauffacher M, Martens P, Moll P, Swilling M, Thomas CJ 2012: Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. Sustainability Science 7 (1), 25–43. https://doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x

MacLeod M 2018: What makes interdisciplinarity difficult? Some consequences of domain specificity in interdisciplinary practice. Synthese, 195(2), 697-720. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11229-016-1236-4.pdf

Maturana HR, Varela FJ 1991: Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living. Springer Science & Business Media

Müller F, Breckling B, Jopp F, Reuter H 2011: What are the general conditions under which ecological models can be applied. In Modelling complex ecological dynamics: An introduction into ecological modelling for students, teachers & scientists (pp. 13-28). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Müller F, Bicking S, Ahrendt K, Bac DK, Blindow I, Fürst C, Haase P, Kruse M, Kruse T, Ma L, Perennes M, Ruljevic I, Schernewski G, Schimming CG, Schneiders A, Schubert H, Schumacher J, Tappeiner U, Wangai P, Windhorst W, Zeleny J 2020: Assessing ecosystem service potentials to evaluate terrestrial, coastal and marine ecosystem types in Northern Germany–An expert-based matrix approach. Ecological Indicators, 112, 106116. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106116

Myhr AI 2010: A precautionary approach to genetically modified organisms: challenges and implications for policy and science. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 23, 501-525. https://doi.org/10.1007/s10806-010-9234-x

O'Connor T 2020: Emergent properties. https://plato.stanford.edu/ENTRIES/properties-emergent/

Pan X, Dai J, Fan Y, Yang M 2024: Frontier AI systems have surpassed the self-replicating red line. Cornell University. Computer Science > Computation and Language [9 Dec 2024]. https://arxiv.org/pdf/2412.12140, https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.12140.

Scheffer M, Carpenter SR, Lenton TM, Bascompte J, Brock W, Dakos V, van de Koppel J, van de Leemput IA, Levin SA, van Nes EH, Pascual M., Vandermeer J 2012: Anticipating critical transitions. Science, 338(6105), 344-348. https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1225244

Shumailov I, Shumaylov Z, Zhao Y, Papernot N, Anderson R, Gal Y 2024: AI models collapse when trained on recursively generated data. Nature 631, 755–759. https://doi.org/10.1038/s41586-024-07566-y

Silver D, Hubert T, Schrittwieser J, Antonoglou I, Lai M, Guez A, Lanctot M, Sifre L, Kumaran D, Graepel T, Lillicrap T, Simonyan K, Hassabis D 2018: A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play. Science 362(6419), S. 1140–1144. doi:10.1126/science.aar6404

Sinha S, Sridhar S 2014: Patterns in excitable media: Genesis, dynamics, and control. CRC Press.

van den Ende J, Mulder K, Knot M, Moors E, Vergragt P 1998: Traditional and modern technology assessment: toward a toolkit. Technological Forecasting and Social Change, 58(1-2), 5-21. https://doi.org/10.1016/S0040-1625(97)00052-8

Vittadello ST, Leyshon T, Schnoerr D, Stumpf MP 2021: Turing pattern design principles and their robustness. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 379(2213), 20200272. https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0272

WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011: Hauptgutachten: Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. Berlin. https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation

Wittmayer J, Hölscher K 2017: Transformationsforschung - Definitionen, Ansätze, Methoden. Texte 103/2017, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Forschungskennzahl 3714 17 100 0. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Transformation Dynamics

Erreichbarkeiten in ländlichen Räumen Niedersachsens am Beispiel Dunum - Abhängigkeit vom Auto?

Jonas Schoo [1,2] Rainer Schwerdhelm [1]

(1) Jade Hochschule, Ofener Straße 16/19, 26121 Oldenburg
(2) Korrespondierender Autor: jonas.schoo@jade-hs.de

Abstract

Die Erreichbarkeit zentraler Versorgungseinrichtungen und öffentlicher Dienstleistungen ist ein Schlüsselfaktor für die Lebensqualität in ländlichen Regionen. In urbanen Zentren profitieren Bürger von einem dichten und gut ausgebauten Verkehrsnetz, während ländliche Gebiete häufig mit infrastrukturellen Defiziten kämpfen, die die Abhängigkeit vom motorisierten Individualverkehr (MIV) verstärken. Diese Studie untersucht die Mobilitätsmuster in der niedersächsischen Gemeinde Dunum, um die Herausforderungen und Abhängigkeiten in der ländlichen Mobilität zu beleuchten.Mithilfe von Erreichbarkeitsanalysen, die mit dem Network Analyst in ArcGIS Pro durchgeführt wurden, bewerten wir die Zugänglichkeit zentraler Einrichtungen wie Supermärkte, Apotheken, Schulen und medizinische Dienste aus der Perspektive verschiedener Verkehrsmittel: zu Fuß, per Fahrrad, mit öffentlichem Nahverkehr (ÖPNV) und mit dem Auto. Die Resultate zeigen eine signifikante Prävalenz des Autos als Hauptverkehrsmittel, da nur mit diesem alle untersuchten Einrichtungen innerhalb eines akzeptablen Zeitrahmens erreicht werden können. Öffentlicher Nahverkehr und Fahrradinfrastruktur weisen deutliche Lücken auf, die deren Nutzung als Ersatz im Alltag erschweren. Die Studie offenbart nicht nur die geografischen und infrastrukturellen Hindernisse, sondern auch kulturelle Faktoren, die zur Dominanz des MIV beitragen, darunter die Wahrnehmung des Autos als Statussymbol und Symbol für Unabhängigkeit. Diese Erkenntnisse sind entscheidend für die Entwicklung nachhaltiger Mobilitätsstrategien, die speziell auf die Bedürfnisse ländlicher Regionen zugeschnitten sind. Abschließend werden transformative Ansätze wie die Errichtung von Mobility Hubs diskutiert, die neue, nachhaltigere Mobilitätslösungen bieten können. Die Forschungsergebnisse dienen als Grundlage für Entscheidungsträger und Planer, um Maßnahmen zu entwickeln, die den Mobilitätsbedarf ländlicher Einwohner ausgewogen mit ökologischen und sozialen Verpflichtungen in Einklang bringen und damit zur Mobilitätswende beitragen.

Schlüsselworte:

Verkehrswende, Ländliche Räume, Substituierbarkeit des Pkw, Dunum

Zitation:

Schoo, Jonas, Schwerdhelm, Rainer. Erreichbarkeiten in ländlichen Räumen Niedersachsens am Beispiel Dunum – Abhängigkeit vom Auto? Transformation Dynamics 2025, 2, 8. (S. 149-171). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einleitung

Die Erreichbarkeit von wichtigen Versorgungseinrichtungen und öffentlichen Dienstleistungen spielt eine entscheidende Rolle für die Lebensqualität in ländlichen Räumen. In urbanen Gebieten sorgt ein gut ausgebautes öffentliches Verkehrsnetz für eine hohe Erreichbarkeit von verschiedenen Angeboten, während in ländlichen Regionen, wie etwa der niedersächsischen Gemeinde Dunum, häufig eine starke Abhängigkeit vom motorisierten Individualverkehr (MIV) besteht. Diese Abhängigkeit ist besonders ausgeprägt, wenn der öffentliche Nahverkehr aufgrund niedriger Bevölkerungsdichte, langer Entfernungen und infrastruktureller Herausforderungen nicht ausreichend verfügbar ist (Poltimäe et al. 2022). Die Frage, inwiefern diese Abhängigkeit vom Auto die Mobilitätsmuster und die Erreichbarkeit von grundlegenden Einrichtungen beeinflusst, ist ein zentraler Bestandteil der Mobilitätsforschung in ländlichen Gebieten. Im Hinblick auf dieses Thema wird Transformation als eine Verbesserung der Lebensverhältnisse verstanden, die insbesondere die Erreichbarkeit von Einrichtungen der Daseinsvorsorge erleichtert.

Im Fall von Dunum zeigt sich eine typische Situation ländlicher Räume: eine geringe Bevölkerungsdichte, hohe Pendlerquoten und eine steigende Alterung der Bevölkerung. Diese Faktoren tragen dazu bei, dass der Pkw als Hauptverkehrsmittel in der Region dominiert. Die weiten Entfernungen zu wichtigen Dienstleistungszentren machen es für die meisten Einwohner notwendig, auf das Auto zurückzugreifen, da Alternativen wie der öffentliche Nahverkehr oder Fahrradinfrastruktur nicht ausreichend verfügbar oder geeignet sind. Der verstärkte Einsatz von MIV führt dabei zu einer Reihe von Fragen: Wie gut sind diese Einrichtungen in ländlichen Gebieten tatsächlich erreichbar? Und wie stark beeinflusst die gegebene Infrastruktur die Abhängigkeit vom Auto?

Die Mobilitätswende ist eine der zentralen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts, die angesichts der globalen Klima- und Umweltkrisen dringlicher denn je geworden ist. Sie zielt darauf ab, den Verkehrssektor grundlegend zu transformieren, um die Klimaziele zu erreichen und die negativen Auswirkungen des Verkehrswesens auf die Umwelt zu reduzieren. Dies erfordert nicht nur die Förderung nachhaltiger, ressourcenschonender Mobilitätslösungen, sondern auch die Entwicklung neuer, integrativer Konzepte, die die Mobilität in allen Regionen und für alle Bevölkerungsgruppen ermöglichen. Der private Pkw, lange Zeit ein Symbol individueller Freiheit und sozialer Zugehörigkeit, steht im Zentrum dieser Transformation, da er als Hauptursache für die Umweltbelastungen des Verkehrssektors gilt (Banister 2008; Hagebölling und Josipovic 2018).

Die Mobilitätswende stellt jedoch besonders in ländlichen Regionen eine erhebliche Herausforderung dar. Hier sind viele Menschen noch stärker auf den privaten Pkw angewiesen, da der öffentliche Nahverkehr oft nur unzureichend ausgebaut ist (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2016). Ein Drittel der deutschen Bevölkerung lebt in ländlichen Gebieten, in denen der Umstieg auf alternative Mobilitätslösungen entscheidend für die Erreichung der nationalen Klimaziele ist (Sander 2023). Gleichzeitig sind ländliche Regionen häufig von sozialen und infrastrukturellen Barrieren betroffen, die den Erfolg der Mobilitätswende erschweren. Diese Herausforderungen müssen in die Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte einbezogen werden, um ein inklusives und nachhaltiges Mobilitätssystem zu schaffen (Levin-Keitel et al. 2022).

Diese Fragestellungen stehen im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung, die die Abhängigkeit vom Auto in Dunum mittels Erreichbarkeitsanalysen untersuchen möchte. Durch den Einsatz des Network Analysts in ArcGIS Pro werden Service Areas berechnet, die es ermöglichen, die Erreichbarkeit von wichtigen Einrichtungen für verschiedene Verkehrsmittel (Fuß, Rad, MIV und ÖPNV) zu quantifizieren und die Abhängigkeit vom Pkw im ländlichen Raum zu verstehen. Darüber hinaus sollen Methoden vorgestellt werden, wie die Abhängigkeit vom Pkw reduziert werden kann.

Charakteristiken Dunum

Nach Angaben des Bundesinstitut für Bau,- Stadt- und Raumforschung (BBSR) ist Donum eine stark ländlich geprägte Gemeinde, die sich durch ihre geringe Bevölkerungsdichte, die periphere Lage und das Fehlen einer Einbindung in urbane Verdichtungsräume auszeichnet. Mit einem Grad der Urbanisierung, der als „Ländliche Gebiete oder dünn besiedelte Gebiete“ eingestuft ist, weist die Gemeinde eine stark dörfliche Prägung auf. Der siedlungsstrukturelle Typ wird als „Periphere ländliche Region – kleinstädtischer, dörflicher Raum“ klassifiziert, was die geringe infrastrukturelle Verdichtung und die landwirtschaftlich geprägte Struktur der Umgebung verdeutlicht. Im Hinblick auf die Besiedlungsstruktur zählt Dunum zu den „überwiegend ländlichen“ Gebieten, wobei die periphere Lage der Gemeinde eine entscheidende Rolle für ihre Einordnung spielt (Bundesinstitut für Bau,- Stadt- und Raumforschung 2022).

Nach der Stadt-Land-Typologie von Eurostat gehört Dunum zu den „predominantly rural“-Regionen, also überwiegend ländlichen Räumen mit geringer urbaner Durchmischung. Gleichzeitig wird der städtisch-ländliche

Raum als „ländlicher Raum mit Verstädterungsansätzen“ beschrieben, was auf eine moderate, aber begrenzte Entwicklung von Infrastrukturen und Siedlungsansätzen hindeutet. Funktional betrachtet hat Dunum keine Zuordnung zu einer Großstadtregion und erfüllt keine zentralörtliche Funktion. Ebenso ist die Gemeinde keinem Verdichtungsraum zugehörig, was darauf hinweist, dass sie abseits der großen wirtschaftlichen und infrastrukturellen Zentren Deutschlands liegt (Bundesinstitut für Bau,- Stadt- und Raumforschung 2022).

Diese Charakteristika unterstreichen die Bedeutung von Dunum als typisch ländliche Gemeinde, die durch ihre natürliche Umgebung, geringe Siedlungsdichte und ihre Abhängigkeit von regionalen Zentren geprägt ist.

Die Mobilität in ländlichen Raumtypen, wie am Beispiel der Gemeinde Dunum aufgezeigt, wird maßgeblich durch demografische Merkmale und infrastrukturelle Bedingungen beeinflusst. Bevölkerungsrückgang, ein steigendes Durchschnittsalter und eine hohe Auspendlerquote prägen die Mobilitätsmuster in solchen Gebieten und bestimmen den Modal Split.

Die Bevölkerung von Dunum sank von 1.156 Einwohnern im Jahr 2000 auf 1.101 im Jahr 2023 (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2024). Diese moderate Abnahme spiegelt typische demografische Trends ländlicher Regionen wider, wie niedrige Geburtenraten und die Abwanderung jüngerer Altersgruppen in urbane Zentren. Der Anstieg des Durchschnittsalters von 42,23 Jahren (2001) auf 46,31 Jahre (2022) verdeutlicht den demografischen Wandel zusätzlich (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2024). Diese Entwicklungen wirken sich direkt auf das Mobilitätsverhalten aus: Während ältere Menschen tendenziell weniger mobil sind und häufiger auf öffentliche Verkehrsmittel oder Fußwege zurückgreifen, bleibt der Pkw aufgrund der lückenhaften Infrastruktur und der langen Distanzen weiterhin das zentrale Verkehrsmittel (Nobis und Kuhnimhof 2018).

Ein sinkender Bevölkerungsstand erschwert zudem die Aufrechterhaltung eines wirtschaftlich tragfähigen öffentlichen Nahverkehrs. Die geringe Nachfrage führt zu ausgedünnten Fahrplänen, was den ÖV-Anteil im Modal Split auf lediglich 5 % limitiert. Junge Erwachsene und Pendler sehen sich daher gezwungen, den Pkw zu nutzen, um Bildungs- und Arbeitsstätten zu erreichen. Besonders in ländlichen Gebieten, in denen die durchschnittliche Tagesstrecke mit 44 Kilometern signifikant über der städtischen (37 Kilometer) liegt, wird das Auto als unverzichtbar wahrgenommen. In Dunum entfallen davon etwa 37 Kilometer auf den Pkw (Nobis und Kuhnimhof 2018; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2024).

Die Mobilitätsdaten verdeutlichen, dass der Modal Split in ländlichen Raumtypen durch den MIV dominiert wird, der zusammen mit Mitfahrgelegenheiten 70 % des Verkehrsaufkommens ausmacht (MIV 55 %, Mitfahrer 15 %). Fußwege tragen mit einem Anteil von 17 % einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Mobilität bei, insbesondere für kurze Strecken im Wohnumfeld. Fahrräder haben mit 7 % einen geringeren Anteil, was auf die unzureichende Fahrradinfrastruktur und die geringere Attraktivität dieses Verkehrsmittels für längere Distanzen hinweist. Der ÖV bleibt mit einem Anteil von 5 % weitgehend irrelevant, was durch geringe Frequenzen und eine eingeschränkte Netzabdeckung begründet ist (Nobis und Kuhnimhof 2018).

Die hohe Auspendlerquote von 95,26 % der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in Dunum zeigt die Abhängigkeit der Bevölkerung vom Pkw besonders deutlich. Pendler legen täglich weite Strecken zurück, da Arbeitsplätze außerhalb der Gemeinde liegen. Dieser strukturelle Faktor verstärkt die Bedeutung des Autos als primäres Verkehrsmittel und führt zu einer geringen Flexibilität hinsichtlich alternativer Mobilitätslösungen (Nobis und Kuhnimhof 2018; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2024).

Altersabhängige Unterschiede im Mobilitätsverhalten zeigen, dass jüngere Altersgruppen nach Erreichen des Führerscheinalters stark auf den Pkw angewiesen sind. Die langen Distanzen zu Bildungs- und Arbeitsstätten sowie die schwache ÖV-Anbindung machen das Auto zu einem unverzichtbaren Verkehrsmittel. Ältere Menschen, insbesondere ab 60 Jahren, reduzieren zwar ihre Pkw-Nutzung, greifen jedoch mangels Alternativen weiterhin auf das Auto zurück, ergänzt durch eine leichte Zunahme von Fußwegen und gelegentlicher ÖV-Nutzung (Nobis und Kuhnimhof 2018).

Die Wochenstruktur zeigt, dass der MIV an Werktagen vor allem für Arbeits- und Ausbildungszwecke genutzt wird, während an Wochenenden Mitfahrgelegenheiten und Fußwege eine stärkere Rolle spielen. Der öffentliche Nahverkehr bleibt auch an Wochenenden marginal, was die eingeschränkten Möglichkeiten für Freizeit- und Sozialmobilität in ländlichen Raumtypen unterstreicht (Nobis und Kuhnimhof 2018).

Die Mobilität in ländlichen Regionen wie Dunum ist geprägt von einer starken Abhängigkeit vom Pkw. Die demografischen Entwicklungen, insbesondere der Bevölkerungsrückgang und die Alterung der Gesellschaft, verstärken diese Tendenzen. Die hohe Auspendlerquote, die langen Tagesstrecken und die eingeschränkte Infrastruktur für alternative Verkehrsmittel zementieren die Dominanz des MIV im Modal Split. Öffentliche Verkehrsmittel und Fahrräder spielen aufgrund der geringen

Netzabdeckung und der großen Entfernungen nur eine untergeordnete Rolle. Fußwege, die 17 % des Modal Splits ausmachen, sind vor allem für kürzere Strecken von Bedeutung.

Trotz einer potenziell wachsenden Bedeutung des ÖV für ältere Altersgruppen bleibt der Pkw aufgrund der peripheren Lage und der lückenhaften Infrastruktur unverzichtbar. Der Modal Split spiegelt somit die strukturellen Herausforderungen wider, die ländliche Raumtypen hinsichtlich nachhaltiger Mobilitätsalternativen bewältigen müssen.

Erreichbarkeitsanalysen

Für die Analyse der Erreichbarkeit zentraler Versorgungseinrichtungen in der Gemeinde Dunum wurde die Methode der Service Areas des Network Analyst in ArcGIS Pro angewandt (ESRI, Redlands, CA). Mit diesem Werkzeug können Einzugsgebiete (Service Areas) basierend auf der Fahrzeit berechnet werden, um die räumliche Zugänglichkeit von Einrichtungen zu bewerten. Die Service Area-Analyse ermittelt dabei alle Bereiche, die innerhalb eines definierten Zeitintervalls von einem Startpunkt aus erreichbar sind, wobei reale Straßennetze und verkehrsbezogene Einschränkungen wie Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Einbahnstraßen berücksichtigt werden.

Im Untersuchungsraum wurden Service Areas für die folgenden Einrichtungen berechnet: Hausärzte, Apotheken, Grundschulen, weiterführende Schulen, Kindertagesstätten (Kitas) und Supermärkte. Diese Einrichtungen wurden als zentrale Versorgungspunkte definiert, die eine grundlegende Infrastruktur für die Bevölkerung darstellen. Die Analyse erfolgte für eine maximale Fahrzeit von 20 Minuten, wobei diese Zeitspanne gemäß den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN) als sinnvoller Richtwert für die Erreichbarkeit in ländlichen und suburbanen Gebieten festgelegt wurde (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 2008). Die Berechnungen wurden für vier verschiedene Verkehrsmittel durchgeführt: Fuß, Fahrrad, MIV und ÖPNV. Jedes Verkehrsmittel wurde mit spezifischen Parametern wie Durchschnittsgeschwindigkeit und Netzverfügbarkeit modelliert, um die tatsächlichen Bedingungen der Mobilität im Untersuchungsraum realistisch abzubilden.

Ergebnisse

Die Abbildungen 1-4 zeigen dabei die unterschiedlichen Service Areas für die sechs betrachteten Einrichtungen und die vier verwendeten Verkehrsmittel.

Abbildung 1 zeigt, dass mit Ausnahme der Grundschule keine der anderen untersuchten Einrichtungen (Supermarkt, Apotheke, Hausarzt, Kindergarten, weiterführende Schule) innerhalb von 20 Minuten zu Fuß von Dunum aus erreichbar ist. Diese Ergebnisse verdeutlichen die eingeschränkte Erreichbarkeit wichtiger Daseinsvorsorgeeinrichtungen im unmittelbaren Umfeld des Dorfes, was auf eine hohe Abhängigkeit von anderen Verkehrsmitteln wie dem Auto hinweist, um die Versorgung mit grundlegenden Dienstleistungen sicherzustellen.

Anschließend wurde für jeden Straßenabschnittspunkt für jedes Verkehrsmittel und jedes POI überprüft, in wie vielen Service Areas dieser liegt, um Aussagen darüber treffen zu können, wie viele Einwohner der Gemeinde Dunum Zugang zu Einrichtungen der Daseinsvorsorge haben.

Daten:

Für die Untersuchung wurden verschiedene Datensätze aus unterschiedlichen Quellen genutzt, um die Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen in der niedersächsischen Gemeinde Dunum zu analysieren.

- Daten zu Hausärzten: Die Daten zu Hausarztpraxen wurden von der Kassenärztlichen Vereinigung Niedersachsen (KVN) bereitgestellt, mit Genehmigung des Niedersächsischen Ministeriums für Soziales, Gesundheit und Gleichstellung (MS Niedersachsen). Der Datensatz stammt aus dem Jahr 2023 (Kassenärztliche Vereinigung Niedersachsen 2023).
- Daten zu Supermärkten, Kindertagesstätten und Apotheken: Informationen zu diesen Einrichtungen wurden aus OpenStreetMap (OSM) extrahiert, wobei der Datenstand aus dem Jahr 2024 verwendet wurde (Geofabrik 2024).
- Daten zu Schulen: Angaben zu Grundschulen und weiterführenden Schulen wurden vom Landesamt für Statistik Niedersachsen bereitgestellt, ebenfalls mit dem Stand 2024 (Landesamt für Statistik Niedersachsen 2024).
- Einwohnerdaten: Die Verteilung der Einwohner auf Straßenabschnittsebene basiert auf Daten der GfK SE aus dem Jahr 2022 (GfK SE 2022).
- Routingfähige Netzwerke: Für die Berechnung der Erreichbarkeiten wurden routingfähige Straßennetze verwendet, die auf Grundlage von OSM-Daten erstellt und in einer PostgreSQL-Datenbank mit dem PostGIS- und pgRouting-Plugin implementiert wurden. Für die Erstellung des ÖPNV-Netzwerkes wurden darüber hinaus GTFS-Daten verwendet (Geofabrik 2024; Brosi 2024).

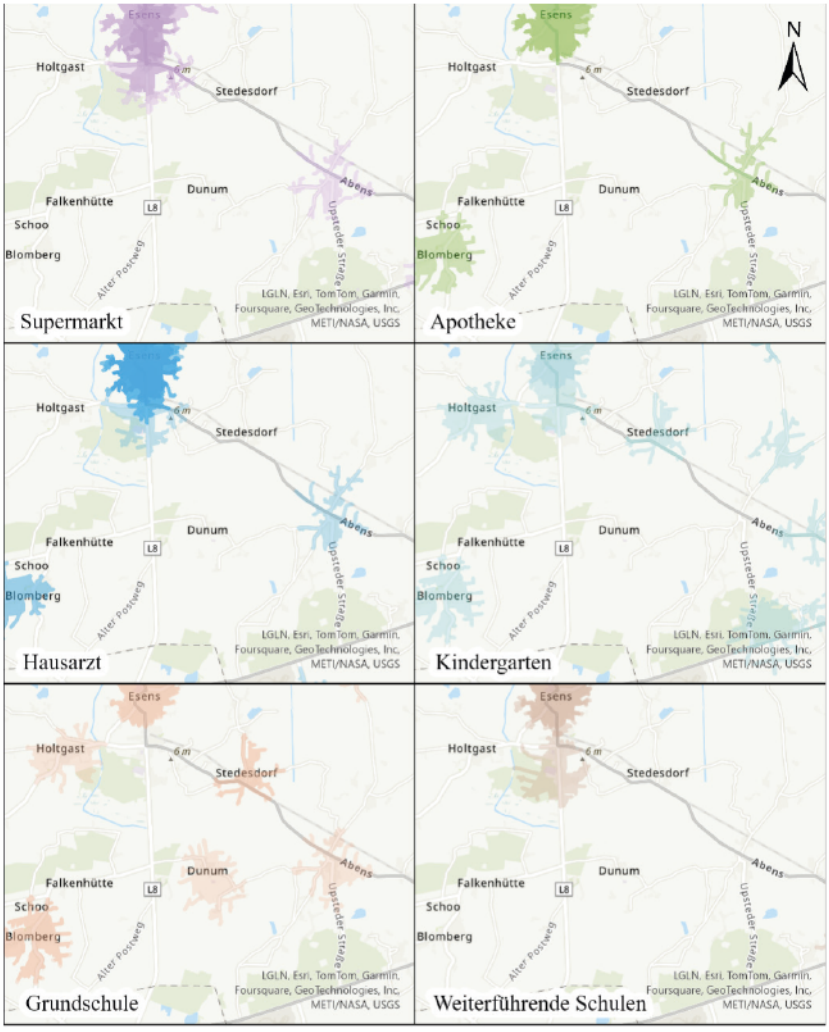
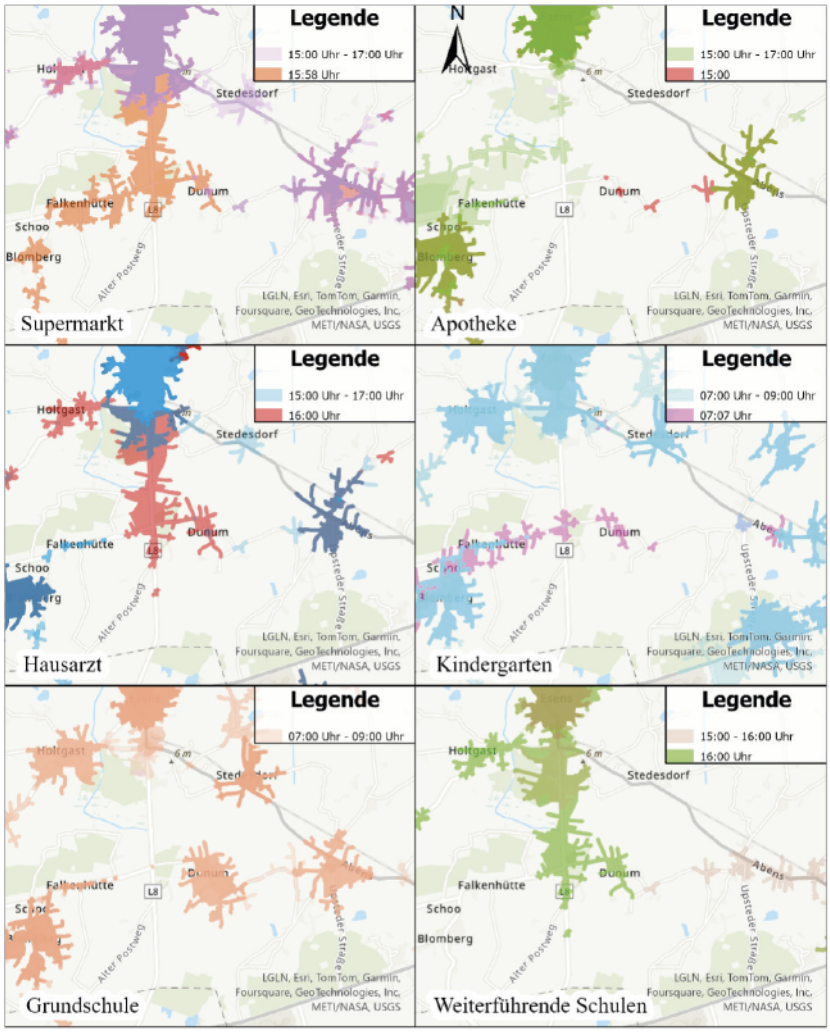


Abb 1 Service Areas "zu Fuß".

Wie in Abbildung 2 gezeigt, ist die Grundschule in Dunum mit dem öffentlichen Nahverkehr innerhalb von 20 Minuten erreichbar. Eine Apotheke hingegen kann mit dem ÖPNV in diesem Zeitraum nahezu nicht erreicht werden. Bei den übrigen Einrichtungen der Daseinsvorsorge, wie Hausarzt, Kindergarten, weiterführende Schulen und Supermarkt,



20 Minuten Einzugsgebiete ausgewählter POIs mittels des Verkehrsmittels 'ÖPNV' im Raum Dunum.

Abb 2 Service Areas "ÖPNV".

ist es lediglich möglich, diese innerhalb eines zweistündigen Zeitintervalls jeweils einmal mit einer Verbindung des ÖPNV zu erreichen. Diese eingeschränkte Erreichbarkeit verdeutlicht die begrenzte Flexibilität des ÖPNV in ländlichen Gebieten wie Dunum.

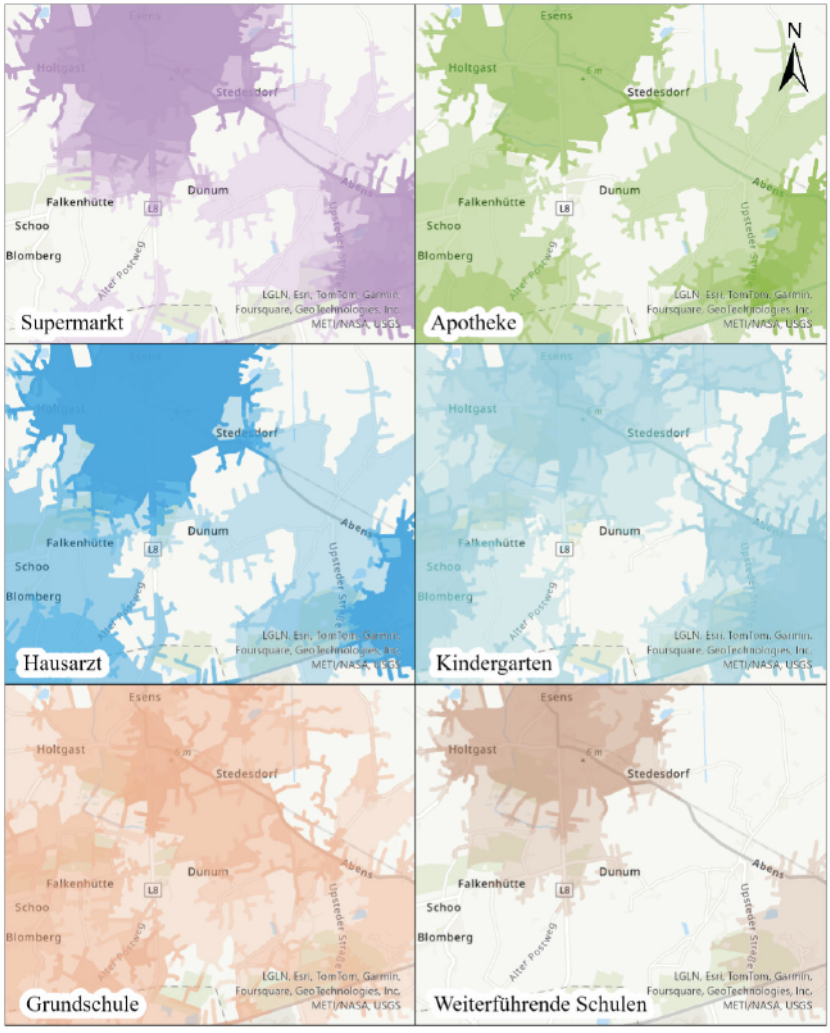


Abb 3 Service Areas "Fahrrad".

Abbildung 3 zeigt, dass mit dem Fahrrad vor allem der Supermarkt, der Hausarzt und die Grundschule innerhalb von 20 Minuten erreicht werden können. Bei den übrigen Einrichtungen, wie den weiterführenden Schulen, dem Kindergarten und der Apotheke, ist die Erreichbarkeit nur teilweise gegeben. Diese Unterschiede in der Erreichbarkeit spiegeln die unterschiedlichen Anforderungen und Entfernungen wider, die mit dem Fahrrad überwunden werden können.



Abb 4 Service Areas "MIV".

Wie in Abbildung 4 dargestellt, ermöglicht der MIV den Einwohnern von Dunum, alle Einrichtungen der Daseinsvorsorge innerhalb von 20 Minuten zu erreichen. Unabhängig von der Entfernung können die Apotheke, der Hausarzt, die Grundschule, der Kindergarten, die weiterführenden Schulen und der Supermarkt problemlos mit dem Auto erreicht werden, was die hohe Reichweite des MIV in ländlichen Räumen verdeutlicht.

Um diese Ergebnisse weiter zu quantifizieren zeigt Tabelle 1 die Erreichbarkeit verschiedener Einrichtungen der Daseinsvorsorge in Dunum innerhalb von 20 Minuten, unterteilt nach Verkehrsmitteln. Sie veranschaulicht, wie viele Einwohner mit den jeweiligen Verkehrsmitteln keine, eine oder mindestens eine Einrichtung erreichen können.

Tab 1 Anteil der Einwohner Dunums, welche die POIs mittels der verschiedenen Verkehrsmittel erreichen können.

	Anzahl POIs	Apotheke	Hausarzt	Grundschule	Kita	Weiterführende Schule	Supermarkt
Fuß	0	100 %	100 %	15 %	0 %	100 %	100 %
	1	0 %	0 %	52 %	0 %	0 %	0 %
	>1	0 %	0 %	33 %	100 %	0 %	0 %
Rad	0	32 %	15 %	100 %	87 %	49 %	22 %
	1	56 %	52 %	0 %	13 %	51 %	42 %
	>1	12 %	33 %	0 %	0 %	0 %	36 %
MIV	0	0 %	100 %	0 %	15 %	0 %	0 %
	1	0 %	0 %	0 %	52 %	0 %	0 %
	>1	100 %	0 %	100 %	33 %	100 %	100 %
ÖPNV	0	87 %	15 %	0 %	50 %	52 %	50 %
	1	13 %	52 %	0 %	42 %	11 %	36 %
	>1	0 %	33 %	100 %	7 %	37 %	13 %

Erreichbarkeit mit dem MIV

Mit dem MIV können nahezu alle Einrichtungen der Daseinsvorsorge in Dunum innerhalb von 20 Minuten erreicht werden. Dies gilt besonders, wenn mehr als eine Einrichtung berücksichtigt wird, wobei die Erreichbarkeit für alle analysierten POIs (Apotheke, Hausarzt, Grundschule, Kita, weiterführende Schule, Supermarkt) bei 100 % liegt, wenn mehr als eine Einrichtung besucht werden muss. Der MIV ermöglicht es den Einwohnern, mehrere POIs innerhalb des 20-Minuten-Zeitrahmens zu erreichen, selbst bei Entfernungen von über einer Einrichtung. Das bedeutet, dass die Erreichbarkeit mit dem MIV eine hohe Flexibilität und Reichweite bietet.

Erreichbarkeit zu Fuß

Die Erreichbarkeit zu Fuß zeigt bei der Mehrheit der Einrichtungen starke Einschränkungen. Keine der Einwohner können eine Apotheke oder

einen Hausarzt innerhalb von 20 Minuten zu Fuß erreichen. Die Grundschule (48 % der Bevölkerung), die Kita (0 % der Bevölkerung) und der Supermarkt (100 % der Bevölkerung) sind unter bestimmten Umständen erreichbar, wobei die Prozentsätze stark variieren, je nachdem, wie viele Einrichtungen gleichzeitig berücksichtigt werden. Besonders auffällig ist, dass die Grundschule auch bei Betrachtung mehrerer Einrichtungen nur von 48 % der Bevölkerung zu Fuß erreicht werden kann, was die starke Abhängigkeit von geografischer Nähe unterstreicht.

Erreichbarkeit mit dem Fahrrad

Mit dem Fahrrad verbessert sich die Erreichbarkeit deutlich. Bei der Betrachtung der einzelnen Einrichtungen sind zum Beispiel 85 % der Einwohner in der Lage, mit dem Fahrrad mindestens einen Hausarzt in 20 Minuten zu erreichen. Bei mehr als einer Einrichtung ist die Apotheke für 12 % der Bevölkerung erreichbar. Die Kita (78 %) und die Grundschule (100 %) sind von einem großen Anteil der Bevölkerung mit dem Fahrrad gut erreichbar. Insbesondere bei der weiterführenden Schule und dem Supermarkt (jeweils 51 % bzw. 78 % der Bevölkerung) bleibt die Erreichbarkeit durch das Fahrrad ebenfalls sehr gut, wenn mehr als eine Einrichtung gleichzeitig berücksichtigt wird. Insgesamt zeigt sich, dass das Fahrrad eine wichtige Alternative darstellt, um verschiedene Einrichtungen innerhalb von 20 Minuten zu erreichen, insbesondere in ländlichen Gebieten wie Dunum.

Erreichbarkeit mit dem ÖPNV

Die Erreichbarkeit mit dem ÖPNV zeigt eine differenzierte Verteilung, abhängig von der jeweiligen Einrichtung. Während 87 % der Einwohner eine Apotheke im Umkreis von 20 Minuten erreichen können, reduziert sich die Reichweite deutlich bei anderen Einrichtungen. Für die Kita und die weiterführende Schule bleibt der ÖPNV nur für 33 % bis 52 % der Bevölkerung zugänglich, je nachdem, wie viele Einrichtungen gleichzeitig berücksichtigt werden. Besonders auffällig ist, dass für die Grundschule die Erreichbarkeit bei Betrachtung mehrerer Einrichtungen höher ist, mit einer Reichweite von bis zu 100 %. Die Kita bleibt jedoch nur für 7 % der Bevölkerung erreichbar, wenn mehrere Einrichtungen gleichzeitig in Betracht gezogen werden. Diese Ergebnisse verdeutlichen die begrenzte Reichweite des öffentlichen Nahverkehrs, insbesondere für Entfernungen zu entlegeneren Einrichtungen in ländlichen Gebieten.

Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Analyse verdeutlichen die signifikanten Unterschiede in der Erreichbarkeit von Daseinsvorsorgeeinrichtungen in Dunum, abhängig vom gewählten Verkehrsmittel. Abbildung 1 zeigt, dass keine der untersuchten Einrichtungen, mit Ausnahme der Grundschule, innerhalb von 20 Minuten zu Fuß erreichbar ist. Dies unterstreicht die begrenzte Fußmobilität in der Region und macht deutlich, dass viele wichtige Dienstleistungen nur mit anderen Verkehrsmitteln, insbesondere dem Auto, erreicht werden können. Besonders auffällig ist die vollständige Unerreichbarkeit wichtiger Einrichtungen wie der Apotheke, des Hausarztes und des Kindergartens zu Fuß, was eine hohe Abhängigkeit vom MIV für die grundlegende Versorgung der Bevölkerung suggeriert.

Die Erreichbarkeit mit dem ÖPNV, wie in Abbildung 2 dargestellt, zeigt, dass zwar die Grundschule innerhalb von 20 Minuten erreichbar ist, die anderen POIs jedoch nur eingeschränkt oder gar nicht erreichbar sind. Die Apotheke ist mit dem ÖPNV in diesem Zeitraum so gut wie nicht erreichbar, was auf eine unzureichende Anbindung und die begrenzte Flexibilität des öffentlichen Nahverkehrs hinweist. Auch wenn einige Einrichtungen wie Supermärkte und weiterführende Schulen in einem zweistündigen Zeitraum erreichbar sind, bleibt der ÖPNV aufgrund der begrenzten Verbindungen und Fahrpläne eine wenig effiziente Option für viele Bewohner.

Abbildung 3 zeigt, dass die Nutzung des Fahrrads die Erreichbarkeit der Einrichtungen erheblich verbessert. Der Supermarkt, der Hausarzt und die Grundschule sind nahezu vollständig innerhalb von 20 Minuten erreichbar. Doch auch hier gibt es Einschränkungen, besonders bei den weiterführenden Schulen, dem Kindergarten und der Apotheke, deren Erreichbarkeit mit dem Fahrrad nur teilweise gegeben ist. Trotz dieser Verbesserungen bleibt das Fahrrad im ländlichen Raum in Bezug auf die Reichweite der wichtigsten Einrichtungen aufgrund der Distanz und mangelnder Infrastruktur für längere Strecken begrenzt.

Der MIV bietet, wie in Abbildung 4 dargestellt, die größte Flexibilität und Reichweite. Mit dem Auto können alle untersuchten Einrichtungen problemlos innerhalb von 20 Minuten erreicht werden, unabhängig von der Entfernung. Dies macht deutlich, dass der MIV im ländlichen Raum die dominierende Mobilitätsoption darstellt und für die Versorgung mit grundlegenden Dienstleistungen unverzichtbar ist.

Im Hinblick auf die Frage, ob der MIV durch andere Verkehrsmittel ersetzt werden kann, ist die Antwort aus der Analyse eindeutig: Der MIV stellt in Dunum die wichtigste und nahezu einzige Option dar, um alle betrachteten Daseinsvorsorgeeinrichtungen schnell und zuverlässig zu erreichen. Angesichts der ländlichen Lage und der geringen Anbindung an den ÖPNV sowie der langen Distanzen zu vielen Einrichtungen ist das Auto unersetzlich. In ländlichen Gebieten wie Dunum, in welchen die Infrastruktur für Fußwege, Radwege und den öffentlichen Nahverkehr begrenzt sind, bleibt der MIV das zentrale Verkehrsmittel, insbesondere für ältere Menschen und Pendler, die auf tägliche Mobilität angewiesen sind.

Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den demografischen und infrastrukturellen Gegebenheiten Dunums, die sich durch eine geringe Bevölkerungsdichte, periphere Lage und die Abhängigkeit von regionalen Zentren auszeichnen. Wie in der Beschreibung der Charakteristiken Dunums deutlich wird, ist das Fehlen einer urbanen Verdichtung und einer umfassenden Anbindung an das Verkehrsnetz ein zentraler Faktor, der die Abhängigkeit vom Pkw verstärkt. Der Bevölkerungsrückgang und die hohe Auspendlerquote tragen zusätzlich dazu bei, dass der MIV für den Großteil der Bevölkerung die einzige praktikable Mobilitätsoption bleibt.

Zusammenfassend lässt sich anhand der durchgeführten Analyse sagen, dass der MIV in Dunum aufgrund der geographischen und infrastrukturellen Bedingungen unersetzbar ist. Der öffentliche Nahverkehr und das Fahrrad stellen nützliche, aber stark eingeschränkte Alternativen dar. Eine Verbesserung der ÖPNV-Infrastruktur und eine Förderung von Fahrradwegen könnten in Zukunft zwar dazu beitragen, die Erreichbarkeit zu erhöhen, jedoch bleibt der MIV vorerst die zentrale Säule der Mobilität im ländlichen Raum.

Die Substituierbarkeit des privaten Pkw in ländlichen Gebieten steht vor erheblichen Herausforderungen, die sowohl durch infrastrukturelle als auch kulturelle Faktoren bedingt sind. In diesen Regionen ist der Pkw oft das einzige praktische Verkehrsmittel, da es an gut ausgebauten öffentlichen Verkehrsmitteln und flexiblen Mobilitätslösungen mangelt. Die wirtschaftlichen und infrastrukturellen Hürden für die Implementierung alternativer Angebote wie Ride-Hailing oder Carsharing sind hoch, insbesondere aufgrund geringer Bevölkerungsdichten (Frank et al. 2021).

Kulturell betrachtet wird das Auto häufig als Statussymbol und Ausdruck von Lebensqualität wahrgenommen, was den Übergang zu alternativen Mobilitätslösungen erschwert (Büschges 1997). Besonders ältere oder sozial schwächer gestellte Bevölkerungsgruppen halten am Auto als

wesentlichem Bestandteil ihres Lebens fest (Maier 2016). Diese Wahrnehmung wird durch Umfragen gestützt, die zeigen, dass ein signifikanter Prozentsatz der Bevölkerung das Auto als Statussymbol betrachtet (STATISTA 2017). Zusätzlich betont Sander (2023), dass das Auto im ländlichen Raum nicht nur für die tägliche Mobilität unverzichtbar ist, sondern auch ein Symbol für Unabhängigkeit und Wohlstand darstellt. Dies spiegelt sich in der kontinuierlich steigenden Anzahl zugelassener Pkw in Deutschland wider, trotz wirtschaftlicher Herausforderungen (Umweltbundesamt 2024).

Die starke Bindung an den privaten Pkw wird durch Studien gestützt, die zeigen, dass ein Großteil der ländlichen Bevölkerung ohne Auto keine ausreichende Mobilität sieht und diese als wesentlichen Faktor für ihre Lebensqualität betrachtet (Verkehrsclub Deutschland e.V. 2021; Nobis und Kuhnimhof 2018; ADAC 2018). Die hohe Präsenz des Autos in ländlichen Haushalten – etwa 90 Prozent im Vergleich zu 58 Prozent in städtischen Gebieten – unterstreicht diese Abhängigkeit (Nobis und Herget 2020; Nobis und Kuhnimhof 2018).

Insgesamt zeigt sich, dass die gesellschaftliche Verankerung des Autos als Statussymbol und essenzielles Transportmittel besonders in ländlichen Gebieten eine bedeutende Barriere für die Akzeptanz und Implementierung alternativer Mobilitätslösungen darstellt.

Als mögliche langfristige Lösungen für die Substituierbarkeit des Pkw werden häufig Mobility Hubs genannt. Mobilitäts-Hubs bündeln verschiedene Verkehrsmittel wie ÖPNV, On-Demand-Verkehre, Sharing-Mobility, sowie Fuß- und Radverkehr und fungieren als Knotenpunkte für multimodale Mobilität (Frank et al. 2021). Diese Hubs sind entscheidend für die Reduktion des motorisierten Individualverkehrs und die Erreichung der Klimaziele, indem sie eine nahtlose Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs ermöglichen und die Erschließung der Fläche vom Punkt der Haltestellen aus fördern. Während städtische Hubs auf eine hohe Nutzerfrequenz zählen können, bedarf es im ländlichen Raum angepasster Modelle aufgrund geringerer Nutzerdichte und weitläufigerer Erreichbarkeitszonen. In ländlichen Regionen haben Mobilitäts-Hubs häufig eine bedeutendere Rolle als soziale Orte, weshalb alternative Angebote zur Nahmobilität essenziell sind (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023).

In ländlichen Gegenden können Mobility Hubs gleichermaßen sozialen und wirtschaftlichen Nutzen bringen, indem sie den Zugang zu Arbeitsplätzen, Bildungseinrichtungen, Gesundheitsdiensten und anderen

wichtigen Ressourcen verbessern. Dies ist besonders wichtig in ländlichen Räumen, in welchen der Zugang zu solchen Diensten oft eingeschränkt ist. Der Ausbau von Mobility Hubs kann dazu beitragen, soziale Ungleichheiten zu verringern, indem sie Bewohnern unabhängig von ihrem individuellen Transportmittel gleiche Mobilitäts- und Teilhabechancen bieten (Arnold et al. 2023). Mobilitäts-Hubs im ländlichen Raum sind entscheidende infrastrukturelle Ankerpunkte, die über herkömmliche Haltestellen hinaus einen räumlichen, funktionalen und sozialen Mehrwert bieten. Diese Hubs integrieren Mobilitäts-, Aufenthalts-, Kommunikations- und Sekundärfunktionen, um die Effizienz und Attraktivität des öffentlichen Verkehrs zu steigern (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023).

Die Mobilitätsfunktion der Hubs ermöglicht flexible Umstiege zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln, wie etwa vom Shuttle zum Fahrrad und erfordert eine barrierefreie, sichere und komfortable Gestaltung (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023). Die Implementierung von etwa autonomen Shuttles (AS) in ländlichen Räumen wird von Experten als eine vielversprechende Smart Mobility-Option betrachtet, um den öffentlichen Nahverkehr zu individualisieren und die Erreichbarkeit peripherer Orte zu verbessern (Gross-Fengels 2020). Diese Shuttles, die auf Abruf per App verfügbar sind, könnten als bedarfsorientierte Erweiterung des ÖPNV im Sharing-Betrieb operieren, wobei sie die dispers verteilte Verkehrsnachfrage bündeln und die Anbindung an überregionale Knotenpunkte sichern (Klementschitz et al. 2019; Rauh et al. 2020; Riener et al. 2020). Trotz infrastruktureller und rechtlicher Herausforderungen, wie der unzureichenden Verfügbarkeit von 5G-Netzen, bieten AS ökonomische Vorteile durch geringere Betriebskosten und die Eliminierung von Fahrpersonal (Knie et al. 2019). Diese Entwicklungen eröffnen nicht nur demografische Chancen, indem sie die Mobilität für ansonsten eingeschränkte Gruppen wie ältere Menschen erweitern, sondern sie adressieren auch soziale Aspekte der Mobilität durch die Förderung von Begegnungen in den Shuttles. Die langfristige Integration von AS könnte somit entscheidend zur Sicherung einer nachhaltigen und inklusiven Mobilität im ländlichen Raum beitragen (Gross-Fengels 2020).

Die Aufenthaltsfunktion zielt darauf ab, Wartezeiten angenehm zu gestalten und soziale Interaktionen zu fördern. Essenzielle Elemente sind Witterungsschutz, ansprechende Sitzgelegenheiten und Serviceangebote wie WLAN oder Snackautomaten. Die Aufenthaltsqualität wird zusätzlich durch Sicherheitsaspekte wie Beleuchtung und Einsehbarkeit unterstützt (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023).

Die Kommunikationsfunktion umfasst die Darstellung und Vermittlung der am Hub verfügbaren Mobilitätsangebote und -nachfragen. Dies wird durch eine Kombination aus analogen und digitalen Kommunikationsmitteln gewährleistet, wobei digitale Plattformen in Echtzeit eine dynamische Anpassung der Verkehrsangebote und die Entwicklung partizipativer Verkehrsdienstleistungen fördern (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023).

Die Sekundärfunktionen verleihen den Hubs zusätzliche Zentralität, die besonders in kleinen Ortsteilen von Bedeutung ist. Diese Funktionen umfassen alltägliche gesellschaftliche Aktivitäten wie Versorgung, Handel und soziale Interaktionen, wobei sie jeweils an die spezifischen Bedürfnisse der lokalen Gemeinschaft angepasst werden sollten (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023). Ein vielversprechender Ansatz zur Erweiterung der Funktionalität von Mobilitäts-Hubs ist die Integration von „kompakten" Daseinsvorsorge-Einrichtungen. Dieses Konzept zielt darauf ab, den Hubs eine multifunktionale Rolle zuzuweisen, die über die bloße Bereitstellung von Verkehrsdienstleistungen hinausgeht und gleichzeitig den Bedarf an Pkw-Fahrten reduziert. So könnten beispielsweise smarte Mini-Supermärkte implementiert werden, die den täglichen Bedarf der Nutzer decken. Ergänzt werden könnte dieses Angebot durch Paketshops, die als zentrale Anlaufstellen für die Abholung und Abgabe von Lieferungen dienen. Die Einrichtung einer Sammelstelle für Apotheken-Lieferdienste könnte insbesondere für ältere oder in ihrer Mobilität eingeschränkte Menschen eine wertvolle Ergänzung darstellen. Zusätzlich könnte die Integration von Räumen für telemedizinische Behandlungen in Zusammenarbeit mit Hausärzten die gesundheitliche Versorgung direkt vor Ort unterstützen. Schließlich könnten Angebote zur Hausaufgabenbetreuung verwirklicht werden, die den Hub als einen Ort des Lernens und der sozialen Interaktion etablieren. Durch die Bereitstellung dieser Dienstleistungen in zentraler Lage werden unnötige Fahrten mit dem Pkw vermieden, wodurch sowohl der Verkehr als auch die Umweltbelastung erheblich reduziert werden können. Diese multifunktionalen Hubs würden nicht nur die Effizienz des urbanen Raumes verbessern, sondern auch einen Beitrag zur sozialen Nachhaltigkeit leisten, indem sie den Zugang zu wesentlichen Dienstleistungen zentralisieren.

Insgesamt sind Mobilitäts-Hubs im ländlichen Raum konzeptionell so gestaltet, dass sie als zentrale, multifunktionale Orte fungieren, die sowohl die Effizienz des öffentlichen Verkehrsnetzes erhöhen als auch wichtige soziale und wirtschaftliche Rollen in den Gemeinden übernehmen. Die zielgerichtete Kombination und Gestaltung dieser Funktionen kann die

Hubs zu Schlüsselkomponenten zukunftsorientierter Mobilitätsstrategien machen (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2023). In der Planung und Umsetzung von Mobilitätshubs ist die Einbindung lokaler Entscheidungsträger essenziell, um sicherzustellen, dass die Hubs den spezifischen Bedürfnissen der Gemeinschaft entsprechend gestaltet werden (Frank et al., 2021). Neben der notwendigen Akzeptanz durch die Nutzer und der Attraktivität der geplanten Standorte gilt es auch, offene Fragen zur wirtschaftlichen Betriebsmöglichkeit der Hubs und deren vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten zu klären. Vor dem Hintergrund der erheblichen Herausforderungen, periphere Wohngebiete von ihrer Abhängigkeit vom Auto zu befreien, erscheint dieser Ansatz vielversprechend (Krüger und Altrock 2023).

Schlussfolgerung und Ausblick

Die Analyse zeigt, dass der MIV in Dunum die wichtigste und praktisch einzige Möglichkeit ist, alle Daseinsvorsorgeeinrichtungen innerhalb von 20 Minuten zu erreichen. Der öffentliche Nahverkehr und das Fahrrad bieten nur begrenzte Alternativen und erreichen viele Einrichtungen nicht oder nur teilweise. Diese Ergebnisse unterstreichen die hohe Abhängigkeit von Autos in ländlichen Gebieten wie Dunum.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die Abhängigkeit vom MIV in ländlichen Räumen wie der niedersächsischen Gemeinde Dunum eng mit der Erreichbarkeit von wichtigen Versorgungseinrichtungen und öffentlichen Dienstleistungen verknüpft ist. Die Analyse bietet wertvolle Einblicke in die Mobilitätsmuster und die infrastrukturellen Herausforderungen in ländlichen Gebieten. Insbesondere wurde deutlich, dass die weiten Entfernungen und die geringe Verfügbarkeit von alternativen Verkehrsmitteln wie dem öffentlichen Nahverkehr oder Fahrradinfrastruktur die Abhängigkeit vom Pkw verstärken.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung verdeutlichen, dass die Erreichbarkeit von grundlegenden Dienstleistungen in ländlichen Regionen nicht nur von der Entfernung abhängt, sondern auch maßgeblich durch die bestehende Verkehrsinfrastruktur bestimmt wird. In Dunum stellt sich dies als ein systemisches Problem dar, bei dem die vorhandenen Mobilitätsangebote nicht den Bedürfnissen der Bevölkerung gerecht werden, insbesondere in Hinblick auf die zunehmend alternde Bevölkerung und die geringe Bevölkerungsdichte. Es wird ersichtlich, dass ohne eine gezielte Verbesserung des öffentlichen Verkehrsangebots oder die Schaffung alternativer, nachhaltiger Mobilitätslösungen wie z. B. Mobility Hubs,

die Abhängigkeit vom Pkw in ländlichen Gebieten nur schwer verringert werden kann. Der Blick in die Zukunft legt nahe, dass die Mobilitätswende in ländlichen Gebieten nur dann erfolgreich umgesetzt werden kann, wenn sowohl die infrastrukturellen Bedingungen als auch die sozialen Gegebenheiten berücksichtigt werden. Es wird notwendig sein, neue Konzepte für die Intermodalität zu entwickeln, die eine bessere Vernetzung von Verkehrsmitteln und eine flexible Nutzung von Mobilitätsangeboten ermöglichen. Zudem müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Akzeptanz alternativer Verkehrsmittel zu fördern und die Bevölkerung für den Nutzen von nachhaltiger Mobilität zu sensibilisieren.

Als Lösungsansatz wurde das Konzept der Mobility-Hubs diskutiert, welche einerseits die Mobilität in ländlichen Räumen verbessern könnte, andererseits einen sozialen Ort darstellen könnte, in welchem neben den Mobilitätsangeboten auch Angebote aus dem Bereich der Daseinsvorsorge bereitgestellt werden können. In diesem Kontext ist es jedoch unabdingbar, die konkreten Bedürfnisse der Gemeinschaft und somit der BürgerInnen, in diesem Fall Dunums, zu erkennen. Die datengestützte Analyse dieser Ausarbeitung stellt dazu nur einen Ansatzpunkt dar, welcher durch beispielsweise Befragungen und deren Auswertung zum tatsächlichen Bedarf der Gemeinschaft angereichert werden muss.

Insgesamt zeigt sich, dass die Verbesserung der Erreichbarkeit von wichtigen Dienstleistungen und die Reduktion der Abhängigkeit vom Pkw in ländlichen Räumen nicht nur durch infrastrukturelle Maßnahmen erreicht werden kann, sondern auch durch eine ganzheitliche Betrachtung von sozialen, kulturellen und technologischen Faktoren. Die Ergebnisse dieser Arbeit werden daher als Grundlage dienen, um weiterführende Strategien zu entwickeln, die den Übergang zu nachhaltigeren Mobilitätslösungen in ländlichen Gebieten, wie beispielsweise Dunum, fördern können.

Ein zu entwickelnder Fragebogen zur Verkehrsanalyse soll in der Gemeinde Dunum, als zentrales Instrument konzipiert werden, um das Mobilitätsverhalten und die spezifischen Bedürfnisse der Einwohner umfassend zu erfassen. Die zielgerichtete Sammlung von demografischen Daten, ergänzt durch detaillierte Informationen zu Mobilitätsquellen, -zielen und der Wahl der Verkehrsmittel, soll eine differenzierte Analyse der bestehenden Verkehrssituation sowie der damit verbundenen Herausforderungen ermöglichen. Ein wesentlicher Aspekt liegt in der Untersuchung der Motivation der Bewohner bei der Entscheidung für bestimmte Verkehrsmittel und der Ermittlung ihrer Bereitschaft zur Nutzung alternativer Mobilitätsangebote. Dadurch sollen wertvolle Erkenntnisse über bestehende Barrieren und potenzielle Hebel zur Förderung nachhaltiger

Verkehrslösungen gewonnen werden. Geplante Erhebungen zur Erreichbarkeit von Einrichtungen der Daseinsvorsorge und zur Nutzungshäufigkeit bestehender Angebote sollen bestehende Lücken im Mobilitätsangebot aufdecken und die quantitativen Ergebnisse dieser Ausarbeitung anreichern. Zudem bietet der Fragebogen die Möglichkeit, Einblicke in die Zufriedenheit der Bewohner mit den aktuellen Mobilitätsmöglichkeiten und ihrer Bereitschaft zur Nutzung innovativer Lösungen wie lokale bzw. Mobility Hubs zu erhalten. Diese Informationen sind entscheidend für die Entwicklung maßgeschneiderter Maßnahmen, wie beispielsweise Mobilitäts-Hubs, die die Effizienz der Mobilität im ländlichen Raum steigern und die Akzeptanz und Nutzung durch die Bevölkerung fördern. Letztendlich sollen die erzielten Ergebnisse dazu beitragen, resilientere, ökologisch nachhaltige und sozial akzeptierte Mobilitätsstrategien für Dunum und vergleichbare ländliche Regionen zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

ADAC (2018): ADAC Monitor „Mobil auf dem Land“. Gesamtbericht 26.11.2018. Online verfügbar unter. https://www.adac.de/-/media/pdf/motorwelt/adac-umfrage-mobil-auf-dem-land.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2024.

Arnold, Thomas; Frost, Matthew; Timmis, Andrew; Dale, Simon; Ison, Stephen (2023): Mobility Hubs: Review and Future Research Direction. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2677 (2), S. 858–868. DOI: 10.1177/03611981221108977.

Banister, David (2008): The sustainable mobility paradigm. In: Transport Policy 15 (2), S. 73–80. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.10.005.

Brosi, Patrick (2024): GTFS für Deutschland: Freiburg. Online verfügbar unter https://gtfs.de/, zuletzt geprüft am 06.12.2024.

Bundesinstitut für Bau,- Stadt- und Raumforschung (2022): Stadt-Land-Regionen. Bonn: BBSR. Online verfügbar unter https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/regionen/StadtLandRegionen/StadtLandRegionen.html#:~:text=Bei%20den%20Stadt%2DLand%2DRegionen,theoretisch%20sehr%20unterschiedlich%20ausgepr%C3%A4gt%20sein.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2023): Neue Mobilität und Mobilitäts-Hubs im ländlichen Raum. Bonn: BBSR.

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2024): INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung. Online verfügbar unter https://www.inkar.de/, zuletzt geprüft am 05.12.2024.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Integrierte Mobilitätskonzepte zur Einbindung unterschiedlicher Mobilitätsformen in ländlichen Räumen. Bonn: BMVI-Online-Publikation.

Büschges, Günter (1997): Das Automobil: Verkehrsmittel, Statussymbol und soziales Problem. In: Soziologische Revue 20 (1). DOI: 10.1524/srsr.1997.20.1.45.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung. Bonn: FGSV.

Frank, Laura; Dirks, Nicolas; Walther, Grit (2021): Improving rural accessibility by locating multimodal mobility hubs. In: Journal of Transport Geography 94, S. 103111. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2021.103111.

Geofabrik (2024): OpenStreetMap Data Extracts. Online verfügbar unter https://download.geofabrik.de/, zuletzt geprüft am 06.12.2024.

GfK SE (2022): Einwohnerdaten auf Straßenabschnittsebene.

Gross-Fengels, Sophia-Marie (2020): Implementierung von Smart Mobility in ländlichen Räumen: Innovative Lösungen und potenzielle Regionalwirkungen für den Kreis Heinsberg. Aachen: RWTH. Online verfügbar unter https://publications.rwth-aachen.de/record/810773/files/810773.pdf, zuletzt geprüft am 11.12.2024.

Hagebölling, Lothar; Josipovic, Neven (2018): Herausforderung Mobilitätswende: Berliner Wissenschafts-Verlag.

Kassenärztliche Vereinigung Niedersachsen (2023): Daten zu allen niedergelassenen ÄrztInnen in Niedersachsen. Hannover: KVN.

Klementschitz, Roman; Angerer, Maria; Bauernfeind, Alfons; Haider, Tobias; Haydn, Philipp (2019): Potenziale für den Einsatz gemeinschaftlich genutzter autonomer Fahrzeuge im ländlichen Raum. In: REAL CORP 2019. Perfect Smart Cities vs. Real Emotional Cities. Proceedings of 24th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society CORP–Compentence Center of Urban and Regional Planning, S. 553–562.

Knie, Andreas; Canzler, Weert; Ruhrort, Lisa (2019): Autonomes Fahren im öffentlichen Verkehr. - Chancen, Risiken und politischer Handlungsbedarf. Gutachten zu autonomen Fahren für die Fraktion Bündnis 90/Die Grünen. Online verfügbar unter https://www.gruene-hamburg.de/wp-content/uploads/2019/04/Autonomes_Fahren_Gutachten_030419.pdf, zuletzt geprüft am 11.12.2024.

Krüger, Arvid; Altrock, Uwe (2023): Mobility Hubs: A Way Out of Car Dependency Through a New Multifunctional Housing Development? In: UP 8 (3). DOI: 10.17645/up.v8i3.6336.

Landesamt für Statistik Niedersachsen (2024): Bildung in Niedersachsen - Interaktive Schulkarten. Hannover: LSN. Online verfügbar unter https://www.statistik.niedersachsen.de/startseite/themen/bildung/bildung-in-niedersachsen-interaktive-schulkarten-190675.html, zuletzt geprüft am 06.12.2024.

Levin-Keitel, Meike; Allert, Viktoria; Gödde, Jan; Krasilnikova, Nadezda (2022): Mobilitätswende in Stadt und Land – Über eine räumliche Perspektive der Transformation zu nachhaltiger Mobilität. In: Brigitta Schmidt-Lauber, Frank Othengrafen, Jörg Pohlan und Rainer Wehrhahn (Hg.): Jahrbuch StadtRegion 2021/2022. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (Jahrbuch StadtRegion), S. 183–203.

Maier, Jörg (2016): Mobilität älterer Menschen in ländlichen Räumen: Wie steht es dort um die Potenziale neuer Mobilitätsformen bzw. –technologien? In: Christian Jacoby und Sandra Wappelhorst (Hg.): Potenziale neuer Mobilitätsformen und -technologien: Akademie für Raumforschung und Landesplanung, S. 74–86.

Nobis, Claudia; Herget, Melanie (2020): Mobilität in ländlichen Räumen Betrachtungen aus Sicht der Verkehrswende und der Gleichwertigkeit von Lebensverhältnissen. In: Internationales Verkehrswesen (72), S. 2–5.

Nobis, Claudia; Kuhnimhof, Tobias (2018): Mobilität in Deutschland. MiD: Ergebnisbericht. Bonn, Berlin: BMVI.

Poltimäe, Helen; Rehema, Merlin; Raun, Janika; Poom, Age (2022): In search of sustainable and inclusive mobility solutions for rural areas. In: European transport research review 14 (1), S. 13. DOI: 10.1186/s12544-022-00536-3.

Rauh, Jürgen; Appel, Alexandra; Graßl, Maximilian (2020): Empirische Beobachtungen zur Akzeptanz des Pilotprojektes „Autonom fahrender Kleinbus“ unter den Bürger*innen von Bad Birnbach. In: Andreas Riener, Alexandra Appel, Wolfgang Dorner, Thomas Huber, Jan Christopher Kolb und Harry Wagner (Hg.): Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 159–176.

Riener, Andreas; Appel, Alexandra; Dorner, Wolfgang; Huber, Thomas; Kolb, Jan Christopher; Wagner, Harry (Hg.) (2020): Autonome Shuttlebusse im ÖPNV. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Sander, Hendrik (2023): Mobilitätswende in Ländlichen Räumen. Das Beispiel Thüringen. Berlin: Rosa Luxemburg Stiftung. Online verfügbar unter https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/luxemburg_beitraege/lux_beitr_17_Mobilitaetswende_web.pdf.

STATISTA (2017): Anteil der Deutschen, der das Auto als Statussymbol bzw. als Mittel zum Zweck ansieht im Jahr 2017. Online verfügbar unter https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164063/umfrage/umfrage-bedeutung-von-auto/.

Umweltbundesamt (2024): Verkehrsinfrastruktur und Fahrzeugbestand. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, Präsidialbereich / Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Internet. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/verkehrsinfrastruktur-fahrzeugbestand#lange-der-verkehrswege, zuletzt geprüft am 06.12.2024.

Verkehrsclub Deutschland e.V. (2021): Factsheet Verkehrswende. Berlin: VCD. Online verfügbar unter https://www.vcd.org/fileadmin/user_upload/Redaktion/Themen/soziale_Verkehrswende/VCD_Factsheet_Verkehrswende_laendlicher_Raum.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2024.

Transformation Dynamics

Austausch über Transformations-Dynamiken im Nordwestlichen Niedersachsen: Bericht vom 4N Jahrestreffen am 28./29. Oktober im Industriemuseum in Lohne

Burghart Schmidt [1, 2], Broder Breckling [1]

(1) Universität Vechta, Fakultät II, Driverstraße 22, 49377 Vechta.
(2) Korrespondierender Autor: burghart.schmidt@uni-vechta.de

Abstract

Am 28. Und 29. Oktober fand im Industriemuseum Lohne das jährliche Treffen aller Beteiligten am Forschungsverbund 4N statt – Nordwest Niedersachsen Nachhaltig Neu: Transformation und Strukturwandel im ländlichen Raum Nordwestdeutschlands: Reallabore in Marsch, Moor, Geest und Mee(h)r –. Dabei wurde ein Überblick über den erreichten Stand der 2022 begonnenen Arbeiten zu einem Spektrum transformationsrelevanter Themenbereiche präsentiert, die nachhaltigkeitsorientierte Veränderungen im ländlichen Raum des nordwestlichen Niedersachsen fokussieren. Berichtet und diskutiert wurden Ergebnisse zur Digitalisierung und Geodatenanalyse, zu Planungsprozessen, Klimawandel-Anpassungen, zu Mobilität, Gesundheit, regenerativer Energienutzung in der Landwirtschaft sowie Bildung für nachhaltige Entwicklung. Die Aktivitäten des Verbundes werden hier in die Diskurse zur Nachhaltigkeits- und Zukunftsorientierung eingeordnet, die angesichts multipler Krisen sowie Wechselwirkungen und gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Disziplinen zunehmend stärker Kooperation, Innovation und Austausch erfordern.

Schlüsselworte:

Transformation, Reallabor, ländliche Räume, Nordwest-Niedersachsen

Zitation:

Schmidt, Burghart, Breckling, Broder. Austausch über Transformations-Dynamiken im Nordwestlichen Niedersachsenn: Bericht vom 4N Jahrestreffen am 28./29. Oktober im Industriemuseum in Lohne. Transformation Dynamics 2025, 2, 9. (S. 173-182). DOI: 10.23660/voado-595. ISSN: 2510-9766.

Einführung

Transformationsprozesse in ländlichen Räumen zählen seit etwa zwei Jahrzehnten zu den zentralen Gegenstandsbereichen inter- und transdisziplinärer Nachhaltigkeitsforschung (Hofmann et al 2025, Wehrden et al. 2019, Schäfer 2013, Horn et al. 2012). Unter Bedingungen multipler Krisen – Klimawandel, Biodiversitätsverlust, demografischer Wandel, infrastrukturelle Fragilität und sozioökonomischer Restrukturierungen (Fritz und Tomaschek 2022) – gilt der ländliche Raum inzwischen nicht länger als peripherer Nachsorgebereich, sondern als ein dynamisches Labor gesellschaftlicher Zukunftsgestaltung. Forschungsverbünde wie 4N („Nordwest Niedersachsen Nachhaltig Neu") bewegen sich damit im Zentrum aktueller Debatten um transformative Forschung, resiliente Regionalentwicklung, Governance regionalen Wandels und sozialökologische Innovationsprozesse (Koschatsky und Stahlecker 2023; https://www.fona.de/de/).

Transformative Forschung und Reallabore im ländlichen Raum

Mit der Wahl des Industriemuseums Lohne als Tagungsort positionierte sich das 4N-Jahrestreffen 2024 in einer historischen wie gegenwartsbezogenen Perspektive auf Transformation. Von der industriegeschichtlichen Veränderung der Region bis hin zu gegenwärtigen Fragen von Energie-, Mobilitäts- und Versorgungswandel lassen sich im nordwestlichen Niedersachsen exemplarisch jene langfristigen Umbruchsprozesse beobachten, die auch im wissenschaftlichen Diskurs als „Deep Transitions" beschrieben werden (Schot und Kanger 2018). Nach den vorangegangenen Treffen 2022 in Vechta, 2023 in Oldenburg ausgerichtet von der Jade Hochschule und 2024 ausgerichtet von der Hochschule Emden-Leer wurde die diesjährige Zusammenkunft erneut durch die Universität Vechta organisiert, diesmal ganz bewusst in einem klassischen Industriemuseum, das ökonomische, ökologische und technologische Veränderungsprozesse exemplarisch dokumentiert (Dräger 2013; https://www.industriemuseum-lohne.de/). Es bot einen perfekten Rahmen mit guter Erreichbarkeit, flexibler Tagungstechnik und ansprechender inhaltlicher Einstimmung. Die von uns verfolgten transdisziplinären Forschungs-, Entwicklungs- und Austausch-Aktivitäten bilden in gewisser Hinsicht die in die Zukunft gerichtete Weiterführung der im Museum dargestellten Retrospektive. Zum Jahrestreffen eingeladen war ebenfalls der der Wissenschaftliche Beirat des Verbundes.

Die reguläre Laufzeit des Projekts endet im Dezember 2025, mehrere Arbeitsgruppen setzen ihre Tätigkeit im Rahmen einer kostenneutralen Verlängerung bis September 2026 fort. Deshalb handelte es sich um den letzten Gesamtüberblick zu dem alle Arbeitsgruppen in einer gemeinsamen Veranstaltung zusammengekommen sind (Abb.1). Die im Verbund integrierte Zusammenarbeit von Hochschulen, kommunalen Akteuren und Zivilgesellschaft orientiert sich an Konzepten der Reallabore (Parodi und Steglich 2021) und co-kreativen Wissensproduktion (Ebert et al. 2024, Hubel 2019). Damit reiht sich 4N in den internationalen Forschungsstrom ein, der auf experimentelle und partizipative Formate setzt, um praxisnahe, sozial robuste und regional adaptierte Transformationspfade aufzuzeigen (Breckling et al. 2024).



Abb 1 Blick in den Tagungsraum des Industriemuseums Lohne während des 4N Jahrestreffen im Oktober 2025.

Das Teilvorhaben 1 berichtete in diesem Kontext über Koordinations-Aktivitäten. Dazu gehörte im zurückliegenden Jahr die Mitwirkung bei Großveranstaltungen in der Region, wie beispielsweise den Landtagen Nord in Wüsting (https://www.landtagenord.de/) oder dem Wochenende an der Jade (https://de.wikipedia.org/wiki/Wochenende_an_der_Jade), wo wir mit der breiteren Öffentlichkeit zu den im Verbund bearbeiteten Fragestellungen in den Austausch getreten sind. Ein gemeinsames Vorhaben ist die Erstellung eines Transformationsatlas, zu dem mehrere Kapitel vorgelegt wurden. Im kommenden Jahr steht außerdem die Erstellung des Abschlussberichts im Vordergrund. Ferner ist eine größere Tagung mit bundesweiter Beteiligung in Planung, die vom 24. bis 26. Juni 2026 in Oldenburg stattfinden wird. Im Frühjahr 2026 werden darüber hinaus in Kooperation mit den Landkreisen Cloppenburg und Vechta in eigenen Veranstaltungen Fragen der Gesundheitsfürsorge und Pflege sowie der Mobilität in ländlichen Räumen wissenschaftlich öffentlich diskutiert.

Governance, Planung und gesellschaftliche Teilhabe

Ein wiederkehrendes Thema des Treffens war die Spannungsachse zwischen administrativer Komplexität, Risikomanagement (Pohl und Zehetmair 2011), begrenzten Handlungskapazitäten und hohem Erwartungsdruck in Planungsprozessen (Heuer et al. 2024). Diese Problemlagen knüpfen direkt an Governance-Forschung zur „capacity trap" (Pritchett et al. 2010) sowie an Debatten zu koproduzierter Planung und kooperativer Regionalentwicklung an (Franz und Heintel 2025). Ebenso wird deutlich, wie sehr klimawandelbedingte Herausforderungen in Küsten- und Tourismusregionen neue Formen der Entscheidungsfindung, der Beteiligung und der strategischen Planung erfordern. In den Vordergrund gestellt wurde in diesem Zusammenhang zum Einstieg des Treffens die Situation im küstennahen Bereich des nordwestlichen Niedersachsens mit Präsentationen der Teilvorhaben 3 und 4, die den transformativen Umgang mit Einflüssen des Klimawandels, des Tourismus und der damit verbundenen Raumplanung darstellten (Witt und Bernzen 2025). Kapazitätsprobleme, Unsicherheit, aber auch häufig Fehleinschätzungen der eigenen Expertise und der Wirksamkeit des eigenen Einflusses kommen im Bereich administrativer Handlungsabläufe zusammen – zusätzlich zu der bekannten Komplexität und bürokratischen Langwierigkeit vieler Entscheidungsabläufe in Planungsprozessen. Eine Verschlankung der Verwaltungsprozesse und eine größere Bürgerbeteiligung auf Grundlage wissenschaftlich fundierter ökologischer, ökonomischer, kultureller und sozialer Faktoren könnte hier einen Ausweg im Hinblick auf eine zielführende und positive Zukunftsgestaltung bieten (Heuer et al. 2024, Heuer 2025).

Instrumente wie die im Teilvorhaben 5 erprobten partizipativen Brettspiele oder Zukunftsdiskurse in Gemeinden wie Dunum (Landkreis Wittmund) lassen sich im internationalen Forschungsstand zu Social Innovation und Deliberation in Rural Planning verorten: Sie dienen dem Empowerment, der Senkung von Beteiligungsschwellen und der Stärkung lokaler Gestaltungskompetenzen. Derartige Möglichkeiten dienen u. a. als Beispiele für Mitwirkungspotenziale zur Gestaltung der eigenen Lebensumwelt in dörflichen Gemeinschaften und regen dazu an, verschiedene Interessensituationen bei Planungsprozessen probehalber einzunehmen (Schwab, im Druck). Die umfangreichen Zukunftsdiskurse, die durch das Teilvorhaben in Dunum durchgeführt wurden erinnerten dabei an ein sehr erfolgreiches Projekt der Universität Vechta, das sich vor einigen Jahren mit ArL – Förderung in Bürgerdiskursen der Zukunft unserer Dörfer gewidmet hatte (https://zukunft-der-doerfer.de/).

Digitalisierung, Datenbasierung und räumliche Gerechtigkeit

Haefner und Sternberg 2020 sowie Salemink et al. 2025 beschreiben das wachsende Forschungsfeld Spatial Data Science und Digital Rural Studies. Zu diesem Forschungsfeld leistet das Verbundvorhaben mit der Geo-Toolbox und kartografischen Erreichbarkeitsanalysen einen Beitrag. Fragen nach Mobilität, Versorgungsgerechtigkeit und infrastruktureller Erreichbarkeit sind eng mit Konzepten der „Rural Accessibility Justice" (Farrington und Tarringron 2005) verknüpft. Derartige Werkzeuge erhöhen die Transparenz und Funktionalität politischer Entscheidungsprozesse und stärken Evidence-Based Planning (Karimi et al. 2025) – ein wichtiges Anliegen angesichts des demografischen Wandels und der damit verbundenen Herausforderungen im öffentlichen Dienstleistungsangebot ländlicher Räume.

Das Teilvorhaben 2 trägt zu dem im Teilvorhaben 1 koordinierten Transformationsatlas und der damit verbundenen Erstellung zahlreicher kartographischer Darstellungen zu den verschiedenen Arbeitsbereichen des Verbundes bei. Dabei wurden u.a. auch Tools für die Erstellung von Geo-Stories entwickelt (Ghavimi et al. 2024). Besonders spannend ist in diesem Kontext ein Erreichbarkeits-Tool, das es ermöglicht, Karten der Region einzufärben abhängig davon, in welchen Zeiträumen von jeweiligen Startpunkten verschiedene Einrichtungen erreichbar sind, beispielsweise Schulen, Arztpraxen, Kirchen, Kinos u.v.a. und dies mit verschiedenen Verkehrsmitteln wie dem Fahrrad, dem Auto, dem ÖPNV oder gar zu Fuß (Werner und Brinkhoff 2025). Für die öffentlichkeitswirksame Diskussion von Planungen und Transformationsbedarfen und die damit verbundene Transparenz ist dies ausgesprochen hilfreich. Angesichts besonderer demographischer Rahmenbedingungen und einer unzureichenden Versorgung des ländlichen Raumes mit öffentlichen Verkehrsmitteln stellen Fragen der Mobilität und Erreichbarkeit von Einrichtungen des öffentlichen Lebens zentrale Herausforderungen zukünftiger Entwicklungen dar (Michalik et al. 2025).

Gesundheit, Pflege und demografischer Wandel im Transformationskontext

Die im Teilvorhaben 6 vorgestellten Ergebnisse der RISING-Studie unterstreichen die Bedeutung gesundheitsbezogener Forschung für Transformationsprozesse. Der demografische Wandel verändert die Bedarfe an Wohnen, Pflege und Versorgung besonders deutlich im ländlichen Raum. Die Ergebnisse reihen sich ein in internationale Forschung zu Healthy Aging,

Rural Gerontology und Care Transformations und zeigen, dass Wohnumfeldentscheidungen ein zentraler Hebel für Prävention und Lebensqualität im Alter sind. Damit stellt das Vorhaben eine wichtige Verzahnung zwischen regionaler Transformationsforschung und Public-Health-Perspektiven her. Die Daten der repräsentativen Erhebungen des Teilvorhabens 6 werden gegenwärtig statistisch ausgewertet, sind aber noch nicht abschließend publiziert (Sisenop et al. 2025, Behr et al., in Vorbereitung). Als weiterer Beitrag aus dem Teilvorhaben wurden Präferenzen zur Wohnsituation im Alter in einer Befragung und Vignettenstudie analysiert (Schulz et al. 2025). Altersbedingt verändern sich Bedürfnisse und Anforderungen an die Wohnumgebung, die bedeutsam für die Lebensqualität älterer Menschen werden können und Entscheidungen zur Veränderung erfordern, z.B. Umbau oder Wohnungswechsel. Es wurde festgestellt, dass letztere einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung oder Verhinderung von Pflegebedürftigkeit haben.

Energie- und Agrarwende als Kern nachhaltiger ländlicher Entwicklung

Im Bereich regenerativer Energien (Teilvorhaben 7) nimmt der Verbund zentrale Debatten der Energie- und Agrarwende auf (Hamidi et al. 2024, Wunder et al. 2023). Die Untersuchung von Photovoltaik-Potenzialen in kleinen Landwirtschaftsbetrieben und die Erprobung von Wasserstofftechnologien verorten 4N im Spannungsfeld von Energy Transition Studies, Agro-Photovoltaik-Forschung und sozio-technischen Innovationssystemen. Das Reallabor an der Hochschule Emden zeigt exemplarisch, wie dezentrale Energiesysteme zur Zukunftsfähigkeit ländlicher Regionen beitragen – ökonomisch, ökologisch und sozial. Gerade für Anwendungen der Photovoltaik ergeben sich auch für kleinere landwirtschaftliche Betriebe vielfältig nutzbare Optionen. Eine in diesem Jahr in Betrieb genommene Photovoltaikanlage an der Hochschule Emden stellt dazu einen interessanten Erprobungsrahmen bereit. Ebenfalls untersucht wurde die Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Hier sind die Rentabilitätsbedingungen aktuell noch eingeschränkt. Für die Transformationsprozesse im ländlichen Raum insgesamt werden regenerative Energiesysteme für die zukunftsfähige Sicherung des ländlichen Lebensumfeldes eine erhebliche Rolle spielen. Die Potenziale regenerativer Energienutzung in der Landwirtschaft sind aus verschiedenen Perspektiven, technisch, ökonomisch, ökologisch und soziokulturell als ausgesprochen zukunftsweisend zu betrachten (Bluhm und Rupp 2024).

Bildung für nachhaltige Entwicklung und transformative Kompetenzen

Mit den „Future Walks“ greift das Teilvorhaben 8 aktuelle Ansätze der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE, Horn et al. 2023, Weh et al. 2025) und Transformative Literacy auf. Das experimentelle Zusammenspiel von Ortsbegehungen, Bildproduktion durch KI und Dialogformaten spiegelt internationale Ansätze „embodied learning“ und „visual futures“ wider. Diese Methoden fördern partizipative Entscheidungsprozesse und regen insbesondere junge Menschen an, sich als Mitgestaltende nachhaltiger Regionalentwicklung zu verstehen. Zukunftsspaziergänge hat das Teilvorhaben 8 als Methode konkretisiert, um Empowerment für Nachhaltigkeit in Bildungs-Zusammenhängen voranzubringen (Hoff et al.2025, Hoff und Rieckmann, im Druck). Über Erfahrungen der Umsetzung wurde berichtet. Dabei ging es darum, mit den Teilnehmenden, insbesondere Jugendgruppen, Orte im näheren Lebensumfeld zu erkunden und sich über nachhaltigkeitsfördernde Neugestaltungsoptionen auszutauschen. Diese wurden ausgehend von vor Ort aufgenommenen Fotos mittels Anweisungen an KI-Bildgeneratoren für die weitere Diskussion visualisiert, um Entscheidungsprozesse für Neugestaltungen zu unterstützen.

Wissenschaft–Praxis-Dialog und integrierte Transformationsperspektiven

Auch die Diskussion mit dem Wissenschaftlichen Beirat knüpft an die wissenschaftliche Forderung nach reflexiven Evaluations- und Lernprozessen in transformativen Forschungskontexten an. Durch Poster, Sonderdrucke und Public-Engagement-Formate zeigt der Verbund, wie wissenschaftliches Wissen anschlussfähig für politische, zivilgesellschaftliche und ökonomische Akteure aufbereitet werden kann – ein Kernanliegen „transdisziplinärer Wissensintegration“ (Döll und Cless 2018). Verschiedene Exponate wurden aufgestellt, die im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit entwickelt und erprobt wurden – die 17 Würfel, auf denen in einfacher Sprache die UNESCO-Nachhaltigkeitsziele erklärt werden, das Modell eines mit Solarenergie betriebenen Hydrolyseurs, der den Wasserstoff für ein brennstoffzellenbetriebenes Mini-Fahrzeug liefert sowie eine Vielzahl von Materialien für die Öffentlichkeitsarbeit in den Bereichen Klimawandel, Biologische Vielfalt, Tourismus und Altern.

Gesamtfazit: 4N im Kontext der Transformationsforschung

Das 4N-Jahrestreffen verdeutlicht eindrücklich, wie breit und zugleich kohärent sich Transformationsforschung in ländlichen Räumen entfalten kann: von der einzelbetrieblichen Energieinnovation über kommunale Beteiligungsprozesse bis hin zu regionalen Strategien für Gesundheit, Mobilität und Klimaanpassung.

Der Verbund trägt damit zu einer integrierten Betrachtung ländlicher Transformationsdynamiken bei, wie sie in der internationalen Forschung zunehmend gefordert wird – nicht als sektorale Einzelmaßnahmen, sondern als systemische, vernetzte und sozial eingebettete Veränderungsprozesse (Schneidewind 2018, WBGU 2011). Der geplante Transformationsatlas, der Abschlussbericht sowie die bundesweite Tagung 2026 werden einen weiteren Beitrag zur wissenschaftlichen Konsolidierung dieser Ergebnisse leisten.

Literatur

In den kursiv gesetzten Publikationen enthalten Ergebnisse aus der Arbeit des Verbundes.

Behr, K.-J., Chatarajupalli, P., Sisenop, F., Lindert, J. (in Vorbereitung): Rurality and mental health.

Bluhm, H., Rupp, J. (2024). Landwirtschaft und Energiewende: Neue Synergien für mehr Klimaschutz. Ökologisches Wirtschaften-Fachzeitschrift, 39(3), 14-15. https://oekologisches-wirtschaften.de/index.php/oew/article/download/2051/1958

Breckling, B., Baumann, K., Schmidt, B. (2024). Überblick zum Forschungsverbund 4N: Nordwest Niedersachsen Nachhaltig Neu. Transformation und Strukturwandel im ländlichen Raum Nordwestdeutschlands: Reallabore in Marsch, Moor, Geest und Mee(h)r. Transformation Dynamics 1, 1. https://www.uni-vechta.de/fileadmin/user_upload/tra-dyn/Bilder/KAPITEL_1___TD01_2802k.pdf

Döll, P., Cless, K. H. (2018). Inter-und transdisziplinäre Integration von Wissen über sozial-ökologische Systeme als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung: das interdisziplinäre Seminar „Städte und Wasser “. In Nachhaltigkeit in der Lehre: Eine Herausforderung für Hochschulen (pp. 23-35). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg

Dräger. B. (2013). 25 Jahre Industrie Museum Lohne. Ein Haus der Kultur und das „Gedächtnis“ des industriellen Erbes der Region. In: Heimatverein Lohne e. V. (Hg.): Laon-Lohne 2013. Neue Schriftenreihe des Heimatvereins Lohne e. V. Lohne, S. 173–190, (https://de.wikipedia.org/wiki/Industriemuseum_Lohne)

Ebert, I., Rahn, S., Rodatz, C. (2024). Wie gestalten wir Gesellschaft? Interdependenzen zwischen Design und dem Feld des Sozialen (p. 350). Bielefeld, transcript. https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/90713/1/9783839472415.pdf

Farrington, J., Farrington, C. (2005). Rural accessibility, social inclusion and social justice: towards conceptualisation. Journal of Transport geography, 13(1), 1-12. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0966692304000675

Franz, Y., Heintel, M. (Eds.) (2025). Kooperative Stadt- und Regionalentwicklung. UTB. Wien, 2. Aufl.

Fritz, J., Tomaschek, N. (Eds.) (2022). Transformationsgesellschaft: Visionen und Strategien für den sozialökologischen Wandel. Münster, Waxmann Verlag

Ghavimi, A.; Schoo, J.; Werner, T.; Brinkhoff, T.; Pesch, R.; Schüssler, F. (2024). Geo-Toolbox: Von Daten zur Anwendung. Transformation Dynamics, 1, 4. http://dx.doi.org/10.23660/voado-415

Haefner, L., Sternberg, R. (2020). Spatial implications of digitization: State of the field and research agenda. Geography Compass, 14(12), e12544. https://compass.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gec3.12544

Hamidi, D., Baumann, K., Kayser, M., von Witzke, H., Isselstein, J. (2024). Agronomische und ökologische Potenziale von Photovoltaikanlagen auf Grünland. Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/514

Heuer, P. (2025). Exploring leverage points for a transformation-fit regional planning in Lower Saxony. In: European Journal of Spatial Development (22(2)), S. 69–99. DOI: 10.5281/zenodo.17064007

Heuer, P., Schäfer, E., Schaal, P. (2024). Implementing the Socio-Ecological Transformation into Regional Development. Analysis of Instruments and Concepts in Northwest Germany. In: Grabski-Kieron U, Greinke L. (Eds.) 2024: Rural Geographies in Transition, Rethinking sustainable futures of rural areas. Reihe: Ländliche Räume: Beiträge zur lokalen und regionalen Entwicklung / Rural areas: Issues of local and regional development. Band-Nr. 11, Berlin (Lit Verlag). S. 239 – 258. ISBN 978-3-643-91700-3. https://lit-verlag.de/isbn/978-3-643-91700-3/

Hoff H., Costa J., Larsen Y., Nübel R., Rieckmann M. (2025). Ein Blick in die Zukunft: Förderung von Visionsfähigkeit und innovativen Lösungsideen bei Studierenden durch positive Zukunftsnarrative. In: Wirth, T. von, Vogel, T., Jansen P., Kompass für den Wandel. Mit transformativen Fähigkeiten die Welt von morgen gestalten. München, Oekom S. 152 – 170. https://doi.org/10.14512/9783987264351

Hoff, H., Rieckmann M. (im Druck). Eine nachhaltige Zukunft mitgestalten: Neue Ansätze zum Ausbau von Visionsfähigkeit bei Lernenden und Lehrenden. Sonderheft Hochschullehre; Tagung der Deutschen Gesellschaft für Hochschuldidaktik

Hofmann, B., Salomon, H., Hoffmann, S. (2025). Roles of researchers in inter- and transdisciplinary sustainability research: a reflection tool. Sustain Sci 20, 777–792. https://doi.org/10.1007/s11625-024-01619-x

Horn, A., Scheffelaar, A., Urias, E., Zweekhorst, M. B. (2023). Training students for complex sustainability issues: a literature review on the design of inter-and transdisciplinary higher education. International Journal of Sustainability in Higher Education, 24(1), 1-27

Hubel, N./ Nachwuchsgruppe Obsoleszenz, Hrsg., (2019). Wissen, Können, Gestalten – Förderung von Transformationsprozessen mit FUTURES THINKING. OHA-Texte 1/2019. https://socialdesign.de/wp-content/uploads/2023/07/OHA-Paper_1_2019_Futures-Thinking_Hubel.pdf

Karimi, K., Zhand, S., Simons, G., Abdeldayem, W. S., Charalambous, N., Giraud, I. (2025). Framing Evidence-Based Design and Planning: An Analytical, Multi-Scalar and Iterative Framework for Urban Design and Planning. Urban Science, 9(11), 457. https://www.mdpi.com/2413-8851/9/11/457

Koschatzky, K., Stahlecker, T. (Eds.). (2023). Nachhaltige Transformation und resilienter Strukturwandel in Regionen. Fraunhofer Verlag. https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/f2004850-2640-4d18-b775-79334d0ffbd2/content

Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M., Thomas, C. J. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. Sustainability science, 7 (Suppl 1), 25-43

Michalk, W., Lüken, JD., Niederberger, A. (2025). Mobilität im ländlichen Raum und digitale Hilfsmittel: Status quo und Zukunft. In: Proff, H. (eds) New Players in Mobility. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-46485-1_42

Parodi, O., Steglich, A. (2021). Reallabor. - In: Schmohl, T.; Philipp, T. [Hrsg.]; Schabert, J. [Mitarb.]: Handbuch Transdisziplinäre Didaktik. Bielefeld, transcript, S. 255-265. https://www.pedocs.de/volltexte/2023/27663/pdf/Parodi_Steglich_2021_Reallabor.pdf

Pohl, J., Zehetmair, S. (2011). Risikomanagement als Handlungsfeld in der Raumplanung (No. 357). Arbeitsmaterial der ARL. https://www.arl-net.de/system/files/media-shop/pdf/am_357.pdf

Pritchett, L., Woolcock, M., & Andrews, M. (2010). Capability traps? The mechanisms of persistent implementation failure. Center for Global Development working paper, (234). https://papers.ssrn.com/sol3/Delivery.cfm?abstractid=1824519

Salemink, K., Townsend, L., & Chapman, P. (2025). The remapping of rural digitalisation: A just-rural narrative review. Journal of Rural Studies, 113, 103499. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0743016724003036

Schäfer, M. (2013). Inter- und transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung-Innovation durch Integration? In Soziale Innovation und Nachhaltigkeit: Perspektiven sozialen Wandels (pp. 171-194). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-531-18974-1_10

Schneidewind, U. (2018). Die Große Transformation. Eine Einführung in die Kunst gesellschaftlichen Wandels. Frankfurt/M. S. Fischer

Schot, J., Kanger, L. (2018). Deep transitions: Emergence, acceleration, stabilization and directionality. Research Policy, 47(6), 1045-1059. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733318300593

Schulz, M., Gross, C., & Teti, A. (2025). Owning, Renting and Environmental Proactivity: The Role of Housing Tenure in Hypothetical Housing Decisions. INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing, 62, 00469580251370562. https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/00469580251370562

Schwab, A.-K. (Im Druck): Applying participatory Methods of green communities to transform rurban areas of Northwestern Germany. Routledge

Sisenop, F., Behr, K., Chatarajupalli, P., & Lindert, J. (2025). Resilience and life events: Mental health in rural communities. European Journal of Public Health, 35(Supplement_4), ckaf161-368. https://academic.oup.com/eurpub/article-abstract/35/Supplement_4/ckaf161.368/8302351

WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen 2011: Hauptgutachten Welt im Wandel Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation. https://www.wbgu.de/de/publikationen/publikation/welt-im-wandel-gesellschaftsvertrag-fuer-eine-grosse-transformation

Weh, L., Kinne, L., Popp, R. (2025). Digitale Zukunftswerkstatt. Lit Verlag Berlin. https://metadata.lit-verlag.de/downloads/15318-0/9783643153180.pdf

Wehrden, H. von, Guimarães, M. H., Bina, O., Varanda, M., Lang, D. J., John, B., Gralla, F., Alexander, D., Raines, D., White, A., Lawrence, R. J. (2019). Interdisciplinary and transdisciplinary research: finding the common ground of multi-faceted concepts. Sustainability Science, 14(3), 875-888. https://doi.org/10.1007/s11625-018-0594-x

Werner, T.; Brinkhoff, T. (2025): Mapping Temporal Reachabilities: A Web-Based Approach Using Overpass API and Openrouteservice. AGIT Conference. https://agit25posters.blogspot.com/2025/06/30-mapping-temporal-reachabilities-web.html

Witt, G. & Bernzen, A. (2025) Transformationsprozesse im Nordwesten Niedersachsens: Klimafolgen und deren Wahrnehmung auf den Ostfriesischen Inseln. Transformation Dynamics 2025, 2, in diesem Band

Wunder, K., Foth, H., Rolink, J., & Kayser, M. (2023, September). Environmentally friendly solar energy: potential of utilizing field margins in rural areas for photovoltaic systems in combination with wildflower strips. In 22nd Wind and Solar Integration Workshop (WIW 2023) (Vol. 2023, pp. 775-782). IET. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10364943



TRANSFORMATION DYNAMICS

... ist eine im Open Access frei zugängliche transdisziplinäre wissenschaftliche Zeitschrift.
Sie beschäftigt sich mit Veränderungs- potenzialen und Nachhaltigkeitsaspekten in Gesellschaft, Technik und Umwelt, um innovative und weiterführende Lösungen zu finden, bekannt zu machen und zu Implementierungen praktisch beizutragen.

Kontakt
www.uni-vechta.de/tra-dyn
tra-dyn@uni-vechta.de