

# Konzeption von Online-Lernformaten zur Klimaanpassung in Mitteldeutschland unter Einsatz von Geoinformationstechnologien – ein Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung

## *Conception of Online Learning formats for Climate Adaptation in Central Germany using Geoinformation Technologies – A Contribution to Education for Sustainable Development*

Detlef Thürkow<sup>1</sup>, Alina Schürmann<sup>1</sup>, Anne-Kathrin Lindau<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg · detlef.thuerkow@geo.uni-halle.de

<sup>2</sup>Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt

**Zusammenfassung:** Die aktuellen und zukunftsrelevanten Themen des Klimawandels stellen global, regional und lokal eine hohe ökologische und wirtschaftliche Relevanz dar, weshalb die wachsenden Anforderungen an Landnutzungs- und Managementstrategien sowie an Maßnahmen zur Klimaanpassung zunehmend im Fokus der Aus- und Weiterbildung zugehöriger Berufsfelder stehen. Die vorgestellten E-Learning-Formate kennzeichnen Geoinformationsmethoden, mediendidaktische Konzeptionen sowie deren Einsatz- und Evaluationsmöglichkeiten im Rahmen des Wissenstransfers von Schule und Hochschule. Im Fokus stehen crossmediale Storytelling-Lernmodule auf der Basis von Esri Story Maps, welche mit R-basierten Modellen, In-situ-Messreihen und H5P Modulen zur Selbstüberprüfung des Lernerfolgs kombiniert werden.

**Schlüsselwörter:** Klimawandel, E-Learning, Systemdenken, Concept Maps, Story Maps

**Abstract:** *The current and future-relevant topics of climate change are of high ecological and economic relevance globally, regionally and locally. Therefore, the growing demands on land use and management strategies as well as on measures for climate adaptation are increasingly in the focus of education and training in related professional fields. The presented e-learning formats characterize geoinformation methods, media-didactic concepts as well as application and evaluation possibilities in the context of knowledge transfer from school and university. The focus is on cross-media storytelling learning modules based on Esri Story Maps, which are combined with R-based models, in situ measurement series and H5P modules for self-checking learning success.*

**Keywords:** *Climate change, e-learning, system thinking, concept maps, story maps*

## 1 Problemstellung

Klimaforscher können relativ genau vorhersagen, welche Folgen der Temperaturanstieg bis zum Jahr 2050 und darüber hinaus haben wird. Fest steht: Die Jugend von heute, vielmehr die gesamte Menschheit, wird ihr Leben drastisch verändern müssen (Sebald, 2019). Die Massenbewegung „Fridays for Future“ steht dafür als Symbol, welches die junge Generation selbst auf die Tagesordnung gesetzt hat und den Druck auf Politik und Wirtschaft erhöht. Aufgrund des sich abzeichnenden Klimawandels mit veränderten Niederschlagsmustern,

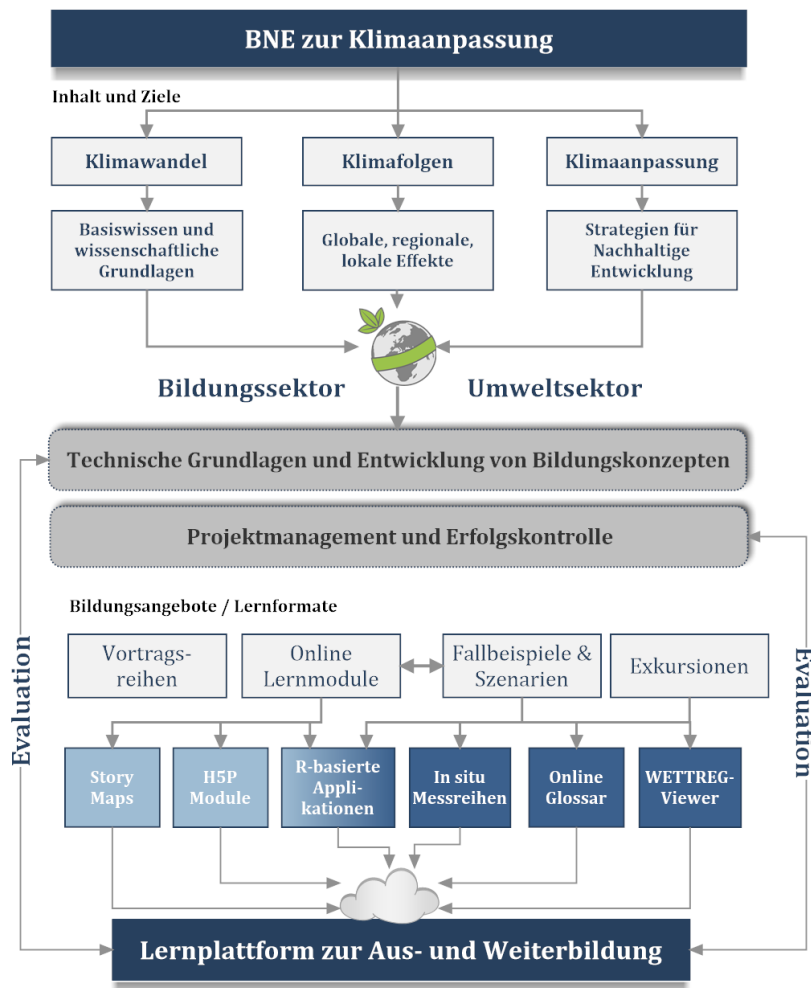
steigenden Temperaturen und einer Zunahme von Extremwetterereignissen ergeben sich global, regional und lokal neue Herausforderungen für Landnutzungen, wie u. a. den Land-, Forst- und Weinbau sowie den Naturschutz (Brasseur et al., 2017; IPCC, 2015). Darüber hinaus müssen sich der Gesundheitssektor, das Wirtschaftssystem, das Katastrophenmanagement, die Kommunen, die Bildungseinrichtungen und jeder einzelne Bürger unweigerlich an neue Rahmenbedingungen anpassen (MW Sachsen-Anhalt, 2014). Die gegenwärtigen und künftigen Herausforderungen an die Menschheit sind global, komplex und mehrperspektivisch. Nur wer die Hintergründe und Ursachen von Ereignissen des Klimawandels kennt, kann die Folgen richtig bewerten und geeignete Anpassungsstrategien entwickeln. Es ist daher notwendig, dass die Lernenden befähigt werden, komplexe Systeme nachhaltig zu verstehen, zu bewerten und entsprechend zu handeln (Rost et al., 2003). Um die Lernenden und künftigen Entscheidungsträger auf die anstehenden Veränderungen in unserer Gesellschaft vorzubereiten, bedarf es in allen Bildungssektoren dringend neuer Angebote, um ein systemisches und kritisches Denken über die Auswirkungen und Folgen des Klimawandels zu fördern (Bofferding & Kloser, 2015). Der große Bedarf an Lernformaten für den Wissenstransfer zum Thema Klimawandel zeigt sich u. a. in der Analyse aktueller Lehrpläne weiterführender Schulen Deutschlands. So weisen beispielsweise der Fachlehrplan „Geographie Gymnasium“ und der Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Kontext einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) explizit auf die Thematisierung von Klimaanpassungsstrategien hin (KMK & BMZ, 2016). Zudem wird der Klimawandel in Gesellschaft und Medien sehr kontrovers diskutiert. Der Transfer aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse in Bildung, Politik und Öffentlichkeit trägt dabei zu einer breiten, rationalen Debatte bei.

## 2 Ziele

Die zunehmende Bedeutung der Digitalisierung in der Gesellschaft, insbesondere für die Lebenswelt der Jugend (MPFS, 2018), stellt eine aktuelle bildungspolitische Herausforderung dar, wodurch digitale Medien in der Gestaltung von Lehr- und Lernumgebungen auch innerhalb des Konzeptes zur Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) eine wachsende Rolle einnehmen. Für die Initiierung von innovativen Erkenntnisprozessen ist es erforderlich, geeignete Lernumgebungen zu schaffen, die folgende Anforderungen an eine BNE verknüpfen: lern- und problemorientiertes Arbeiten, Systemdenken auf verschiedenen Maßstabsebenen, interdisziplinäres Arbeiten an außerschulischen bzw. außeruniversitären Lernorten in Kombination mit naturwissenschaftlichen und geographischen Arbeitsweisen sowie digitalen Medien (Engagement Global, 2018).

Für die Umsetzung dieser neuen Bildungskonzepte bietet der Einsatz von Geoinformationstechnologien große Potenziale, um das Verständnis zu den komplexen Wechselwirkungen von Geoprozessen in der Landschaft und damit das Systemdenken bei Lernenden und Lehrenden zu fördern. Derzeit besteht jedoch zwischen der technischen Innovation bestehender Technologien der (Geo-)Informatik und ihrem Einsatz innerhalb digitaler Medien zu einer BNE eine große Diskrepanz. Die mächtige Schere zwischen technischen Möglichkeiten und einer verstetigten, breiten Nutzung in allen Bildungssektoren ist möglichst rasch zu schließen. Die in diesem Artikel vorgestellten Werkzeuge sollen in diesem Kontext Lösungsansätze aufzeigen. Sie sind für Bildungsanlässe an Gymnasien und Universitäten konzipiert und für eine Mehrfachnutzung innerhalb verschiedener Lernformen geeignet.

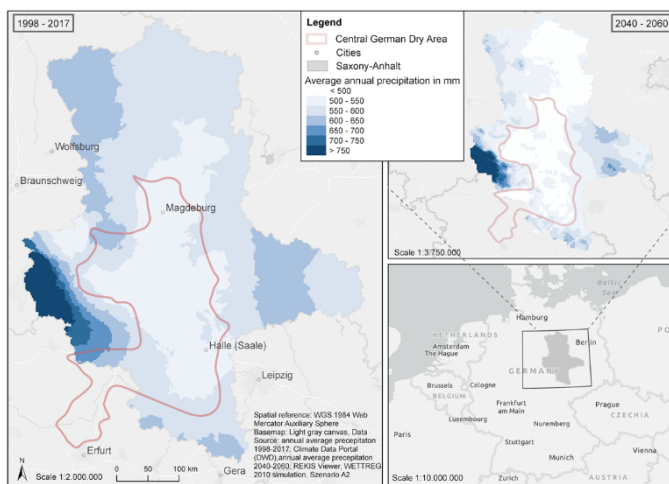
Ausgehend von zu vermittelnden Grundlagen zu den Ausprägungen von Phänomenen des Klimawandels und daraus resultierenden Folgen sollen exemplarisch anhand eines in Mitteldeutschland befindlichen Trockengebietes repräsentative, auf andere Räume übertragbare Maßnahmen zur Klimaanpassung determiniert werden. Die in Abbildung 1 dargestellten Lernformate werden sowohl für den Bildungs- als auch für den Agrar- und Umweltsektor entwickelt. Hinsichtlich ihrer Evaluation fehlen bislang empirische Studien, welche die Effektivität einer BNE-relevanten Lernumgebung in der Kombination von Geländearbeit und digitalen Medien im Kontext des systemischen Denkens analysieren. Im Rahmen einer Interventionsstudie zu Hochwasser- und Dürreereignissen im urbanen Raum untersuchen die Autoren daraufhin die Eignung von Concept Maps, um die Entwicklung des systemischen Denkens bei den Lernenden zu messen und Schlussfolgerungen zu den kognitiven Strukturen und spezifischen Lernerfolgen abzuleiten (Lindau. et al., 2020).



**Abb. 1:** Fließdiagramm zum digitalen Bildungskonzept zur Klimaanpassung

### 3 Untersuchungsgebiet

Gegenstand der Untersuchungen ist das Mitteldeutsche Trockengebiet (Abb. 2). Dieses befindet sich überwiegend im Bundesland Sachsen-Anhalt und wurde aufgrund seiner besonderen Anfälligkeit gegenüber dem Klimawandel ausgewählt. Der Regenschatten des Harzes impliziert im Trockengebiet durchschnittliche Jahresniederschläge von weniger als 500 mm. Im östlichen Harzvorland sind in sehr trockenen Jahren, wie z. B. im „Dürrejahr 2018“, aride Verhältnisse zu beobachten (230 bis 300 mm Jahresniederschlag). Infolge weisen weite Teile der mitteldeutschen Region im Jahresmittel eine negative klimatische Wasserbilanz auf. Aufgrund der Zunahme schneefreier Winter und der damit verbundenen wachsenden Ausprägung von Trockenheit im Frühsommer sind in der ertragsbildenden Wachstumsphase hohe Wasserdefizite zu erwarten (Schmidt et al., 2010). Bereits von Trockenheit betroffene Gebiete sind in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend trockener geworden, während feuchtere Regionen, wie der Harz, eine Zunahme der Niederschläge verzeichnen (BLE, 2017).



**Abb. 2:** Lage des Untersuchungsgebietes und seine durchschnittlichen monatlichen Niederschläge (1998-2017 und 2040-2060)

Die Jahresmitteltemperatur ist im Vergleich zur Durchschnittstemperatur der Referenzperiode zwischen 1961 und 1990 (Klimanormalperiode) großflächig um 0,5-1,5 °C gestiegen, wobei die stärkste Erwärmung in den Wintermonaten festzustellen ist (Kreienkamp et al., 2013). Abbildung 2 zeigt die langfristigen Jahresmittelwerte der Niederschläge für den Zeitraum 1998 bis 2017 und die prognostizierten Niederschläge für den Zeitraum 2040 bis 2060. Der Simulation zufolge wird sich das niederschlagsarme Mitteldeutsche Trockengebiet in Zukunft weiter ausdehnen. Die dargestellten Fakten haben enorme Folgen für die Flächennutzer, insbesondere für die Land- und Forstwirtschaft. Etwa 60 % der Fläche Sachsens-Anhalts werden landwirtschaftlich genutzt. Der Agrarsektor hat somit für das Bundesland eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. In Hinblick auf den Klimawandel wird er als hoch vulnerabel eingestuft, weshalb künftige Bewirtschaftungsstrategien mit nachhaltigen Klimaanpassungsmaßnahmen einhergehen müssen (MULE, 2019).

## 4 Konzeption und Umsetzung

### 4.1 Technische Infrastruktur

Die Lehr- und Lernangebote werden für ihre möglichst breite Nutzung im gesamten deutschsprachigen Raum innerhalb einer modular aufgebauten E-Learning-Plattform als Rich Internet Application (RIA) implementiert. Zu diesem Zweck kommt das Open-Source-basierte Web Content Management System (WCMS) Drupal zum Einsatz. Dieses WCMS wurde ausgewählt, weil es innerhalb seines taxonomischen Subsystems Möglichkeiten zur semantischen Klassifikation raum-, zeit- und themenbezogener Daten bietet. Eine breite Palette von proprietären- und Open-Source-Anwendungen dient der Generierung von im Lernportal implementierten standardkonformen Geodiensten und Services. Dies betrifft beispielsweise WFS- und WMS-Dienste verschiedener, den Web Maps und Web Apps zugrunde liegenden Feature Layern. Diese dienen einerseits der Visualisierung direkt sichtbarer naturräumlicher Ausstattungen, wie z. B. Relief, Bodenart oder Flächennutzung. Andererseits stehen nicht sichtbare räumlich-zeitliche Phänomene im Fokus, weil die Vermittlung der damit einhergehenden Prozesse und Wechselwirkungen Lehrende aufgrund ihrer Komplexität vor große Herausforderungen stellen und Lernenden ihr Verständnis häufig schwerfällt. Thematisch hervorzuheben sind raumzeitliche Szenarien von Klimaparametern, Landschaftsentwicklungen, zur Entstehung und Ausprägung von Hochwasser oder Szenarien zur Bodenerosion und Schneebedeckung in mitteldeutschen Mittelgebirgen. Mittels regionaler Fallbeispiele sind Szenarien durch virtuelle Landschaftsmodelle, modellhafte Simulationen und interaktive Augmented-Reality-Anwendungen veranschaulicht. Darüber hinaus werden datenbankgestützte Services von In-situ-Messreihen zu klimatologischen, phänologischen, pedologischen und hydrologischen Parametern programmiert (PHP, Python, R, JSON), welche raumzeitliche Analysen zu regionalisierten Kenngrößen auf der Basis des Climate Data Centers (CDC) des DWD, institutseigenen Messkampagnen im Mitteldeutschen Trockengebiet oder Geoinformationen weiterer Open-Data-Portale, wie beispielsweise Pegel ONLINE, erlauben.

Um die zu stellenden Anforderungen an die Interoperabilität der Anwendungen innerhalb der Lernumgebung zu gewährleisten und diese auch extern als servicebasierte Dienste anzubieten, werden diese auf Grundlage internationaler Regeln und Standards entwickelt (ISO, OGC). Die zugrunde liegende heterogene Soft- und Hardwarekonfiguration umfasst im Wesentlichen leistungsstarke virtuelle Maschinen und Speichermanagementsysteme, PostgreSQL/PostGIS-Datenbanken, Geoserver-Anwendungen, Open-Source-GIS-Tools (QGIS, SAGA) und den breiten Funktionsumfang der Esri Campus Lizenz (ArcGIS Pro, ArcGIS Online).

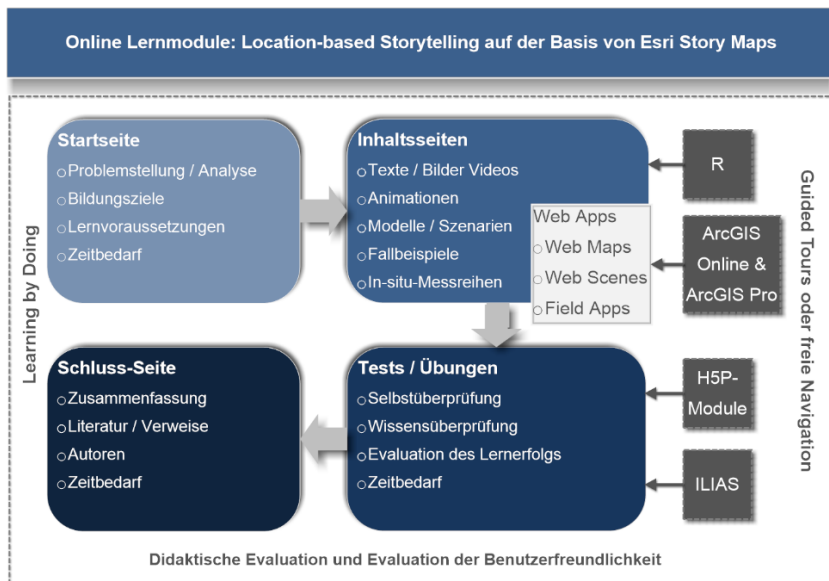
Sämtliche Werkzeuge werden für den Einsatz im Rahmen von Blended-Learning-Modellen entwickelt (MacDonald, 2006) und können aufgrund ihrer Vielfalt inhaltlich und methodisch variabel eingesetzt werden. Dieser Ansatz erlaubt die Kombination der Vorteile von computergestütztem Lernen mit der klassischen Präsenzlehre. Der Wissenstransfer findet somit in einem offenen didaktisch-methodischen Handlungsfeld statt und kann die verschiedenen individuellen Lerntypen berücksichtigen (Clifford et al., 2016). Die Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden soll dabei nicht durch die neuen Methoden ersetzt, sondern ergänzt werden. Zahlreich integrierte interaktive Übungen ermöglichen den Nutzern die umgehende und selbstständige Kontrolle ihres Lernerfolgs. Zu diesem Zweck wird das H5P-Framework eingesetzt. Darüber hinaus werden die Online Tools und servicebasierten Dienste des Lernportals innerhalb von ILIAS-basierten E-Klausuren zu Lehrveranstaltungen des Instituts verwendet.

Der freie Zugriff auf die modularen Lehr- und Lerneinheiten gewährleistet Lehrenden und Lernenden zudem uneingeschränkte Nutzungsmöglichkeiten zur Vor- und Nachbereitung von Lehrveranstaltungen, wie Unterrichtsstunden, Vorlesungen, Seminare, Exkursionen, Weiterbildungen oder Prüfungen. Im Folgenden soll exemplarisch auf die Konzeption und Umsetzung der Online-Lernmodule eingegangen werden, da in diesem Lernformat alle Komponenten der beschriebenen technischen Infrastruktur zusammengeführt sind.

## 4.2 Online-Lernmodule

Die Konzeption und Umsetzung der Online-Lernmodule erfolgt auf Grundlage von Esri Story Maps innerhalb von ArcGIS Online. Mit dieser Software ist es möglich, die große Bandbreite verfügbarer digitaler Medien zusammenzuführen und das geforderte interaktive, selbstgesteuerte Lernen zu unterstützen.

Esri beschreibt Story Maps als interaktive, multimediale (Geo-)Präsentationen mit Bild-, Text-, Zeit- und Raumbezug (Esri, 2012). Sie sind inspiriert vom multimedialen Location-based Storytelling, einem aktuellen Trend und Forschungsfeld zur Präsentation geodatenbasierter Informationen (z. B. Gutting et al., 2019; Harris, 2019). Story Maps eignen sich besonders als Werkzeuge für einen leicht zugänglichen Lernraum, da sie aufgrund ihres Designs und ihrer Benutzerfreundlichkeit auch für mobile Endgeräte genutzt werden können. Dies impliziert ihre heterogenen Einsatzmöglichkeiten innerhalb verschiedener Bildungsformate bis hin zu ihrer Verwendung an Lernorten im Freien.



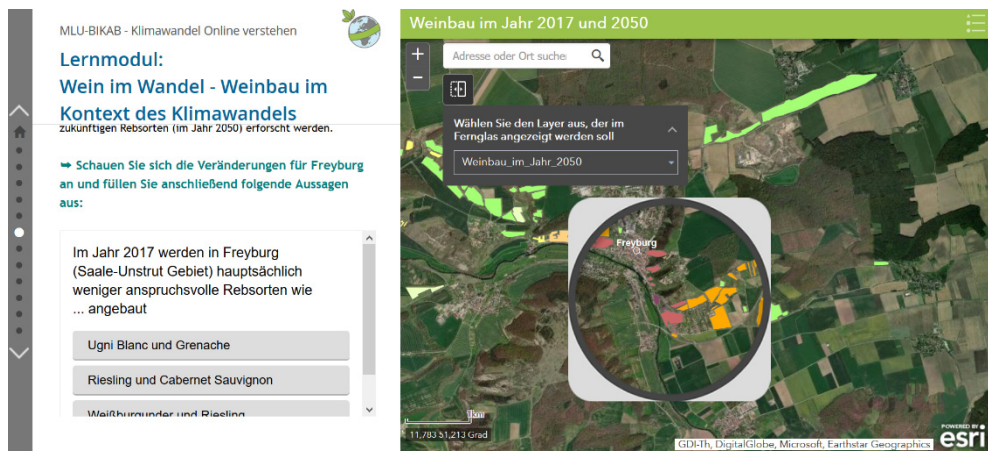
**Abb. 3:** Konzeption der Online-Lernmodule

Abbildung 3 verinnerlicht die komplexe Konzeption der Online-Lernmodule auf Grundlage der dargestellten technischen Infrastruktur. Darüber hinaus wird die festgelegte mediendidaktische Struktur und Gliederung der Lernmodule verdeutlicht. Die der Selbstüberprüfung und Kontrolle des Lernerfolgs dienenden Lernbausteine auf der Basis des H5P-Frameworks

bieten derzeit etwa 40 Fragetypen, von denen vor allem Multiple Choice, Single Choice, Drag & Drop und Lückentexte im Lernangebot berücksichtigt sind. H5P erfordert ein Host-System, in dem die Inhalte erstellt und gespeichert werden können. Im vorliegenden Fall wurde das H5P-Plug-in für Drupal verwendet.

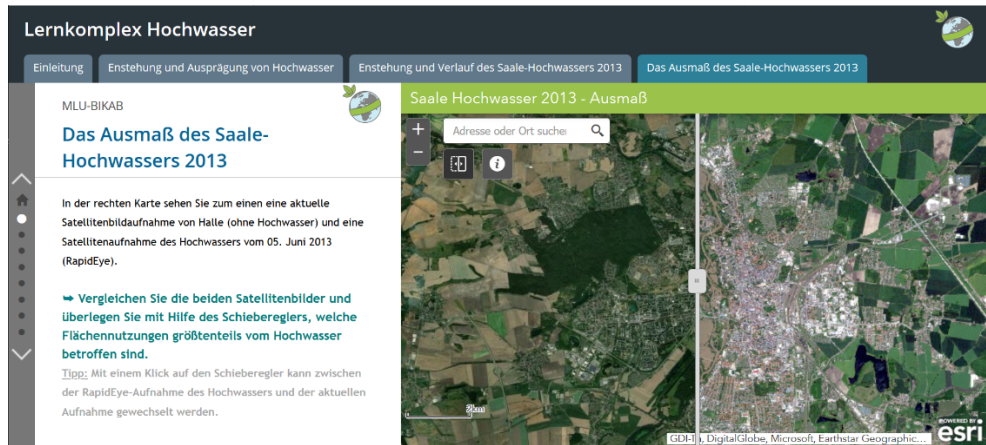
Die in 2D-Webkarten, Web-Mapping-Anwendungen und 3D-Webszenen umzusetzenden Raster- und Vektordaten werden im Vorfeld mit QGIS, SAGA GIS oder Esri ArcGIS Pro aufbereitet und anschließend in ArcGIS Online designed und konfiguriert. Die meisten der für die interaktiven Karten verwendeten Klimadaten stammen aus dem Open-Data-Portal des DWD. Die projizierten Klimadaten (WETTREG2010) wurden aus ReKIS (ReKIS, 2019) übernommen. Die Datenverarbeitung erfolgte mithilfe der quelloffenen statistischen Programmiersprache R.

Bei der Entwicklung der Lernmodule erwies sich die Story Map Journal<sup>SM</sup>-App-Vorlage aufgrund ihres Designs als ideal zum Kombinieren von thematischen Wissensbeständen und den dargestellten (geo)multimedialen Inhalten. Zudem erlaubt dieses Framework sowohl „guided“ als auch frei durch die Kapitel der Lerninhalte zu navigieren, wodurch eine wesentliche Anforderung an die mediendidaktische Konzeption der Module erfüllt wird. Die ebenfalls in Betracht gezogene Story Map Cascade<sup>SM</sup>-App-Vorlage erfüllt diese Anforderung nicht, weshalb ihre Verwendung weitgehend ausgeschlossen wurde. Für spezifische Fragestellungen wurden weitere Frameworks der Classic Story Maps eingesetzt, wie beispielsweise Map Series-Anwendungen zur Bündelung von Lerneinheiten zu Wissenskomplexen (z. B. <https://bit.ly/35rwlXM>) und Swipe/Spyglass-Anwendungen für temporale und thematische Kartenvergleiche. Beispielhaft zeigen die Abb. 4 und 5 Werkzeuge zum Kartenvergleich auf der Grundlage der Esri Story Map Templates Swipe oder Spyglass auf, welche in den Lernmodulen häufig zur Visualisierung von Pre-Post-Vergleichen eingesetzt werden.



**Abb. 4:** Pre-Post-Vergleiche und Maßstabswechsel zur Visualisierung der Ausprägung des aktuellen und möglichen zukünftigen Rebsortenanbaus in der Saale-Unstrut-Region in Abhängigkeit verschiedener Klimaszenarien auf der Grundlage des Esri Spyglass Story Map Templates (<https://bit.ly/35tVRf3>). Den Lokationen in der Karte sind Single-Choice-Fragen auf der Grundlage von H5P zugeordnet, wodurch die Nutzer ihre Schlussfolgerungen aus der Karteninterpretation individuell überprüfen können.





**Abb. 5:** Kartenvergleich zur Ausprägung des Saalehochwassers 2013 auf der Grundlage von RapidEye Satellitenbildern und dem Esri Swipe Story Map Template (<https://bit.ly/3c1D3q3>)

Wie die dargestellten Beispiele zeigen, fokussieren die entwickelten Online-Lernmodule auf ausgewählte Regionen und Themen Mitteldeutschlands, welche gegenüber Prozessen des Klimawandels eine besonders hohe ökonomische und ökologische Relevanz aufweisen. Räumlich betrifft dies insbesondere das Mitteldeutsche Trockengebiet (vgl. Kap. 3), aber auch die Mittelgebirgsregionen von Harz, Thüringer Wald und Erzgebirge. Die Lerninhalte orientieren sich an den Fachlehrplänen der mitteldeutschen Bundesländer sowie an den zugrunde liegenden Bildungsstandards für Geographie (DGfG, 2017). Die Online-Tools sind für eine globale, freie Nutzung zugänglich und werden nach ihrer Evaluation im Rahmen von Blended-Learning-Szenarien an Partnerschulen und im Grundstudium von Universitäten eingesetzt. Eine ausführlichere Darstellung von Konzepten und Ergebnissen zu den Online-Lernmodulen erfolgt in Thürkow et al. (2019). Eine umfassende Übersicht zum Gegenstand und zu den einhergehenden Kompetenzen der Wissensvermittlung sowie zum aktuellen Status der Lernmodule ist in dem zugehörigen Lernportal dargestellt (<https://bit.ly/3fdBgjP>).

## 5 Exkursionen im Kontext einer BNE

### 5.1 Förderung des Systemdenkens

Ein innovatives Medium für eine anwendungsorientierte Bildung sind Exkursionen zu Lernorten im Freien. Systemdenken stellt eine wesentliche Dimension der Systemkompetenz dar. Sie wird als die Fähigkeit beschrieben, „einen komplexen Wirklichkeitsbereich in seiner Organisation und seinem Verhalten als System zu erkennen, zu beschreiben und zu modellieren und auf der Basis dieser Modellierung Prognosen und Maßnahmen zur Systemnutzung und -regulation zu treffen“ (Rempfler & Uphues, 2010, p. 265). Über den systemischen Ansatz hinaus betont der Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Kontext einer BNE die Bedeutung von außerschulischen Lernorten als authentische und lebensbedeutsame Lernumgebungen (KMK & BMZ, 2016). Wie kann eine Lernumgebung in Form



einer geographischen Exkursion in der Kombination von Geländemethoden und digitalen Medien für Schüler bzw. für Studierende konzipiert werden, die im Sinne einer BNE das Systemdenken und daraus resultierend die Entwicklung von nachhaltiger Handlungskompetenz fördert? Mithilfe der dargestellten Online-Lernformate untersuchen die Autoren die Eignung verschiedener Exkursionskonzepte und Methoden im Gelände sowie deren Einsatzmöglichkeiten für die Entwicklung des Systemdenkens. Dabei werden neben den Grundlagen zum Klimawandel und notwendigen Klimaanpassungsmaßnahmen auch Fähigkeiten zur Karten- und Luftbildinterpretation, zum Messen im Gelände (Messmethoden, Aufbau und Funktionsweise von Messinstrumenten) und zu Methoden der digitalen Datenerfassung thematisiert. Sequenziell werden Bausteine aus den Online-Lernmodulen ausgekoppelt und über den Einsatz von Tablets zur verbesserten Erklärung von Geoprozessen und ihren Wechselwirkungen genutzt. Das Fließdiagramm in Abb. 6 zeigt einen verallgemeinerten Versuchsaufbau, der sich auf unterschiedliche Interventionen und Leitbilder innerhalb von Schulen und Universitäten übertragen lässt.



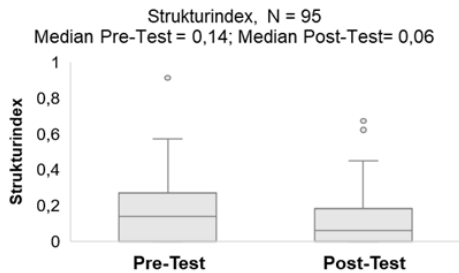
**Abb. 6:** Konzeption einer Exkursion zur Steigerung von Systemdenken und Handlungskompetenz unter Kombination von Geländemethoden und digitalen Medien

## 5.2 Interventionsstudie

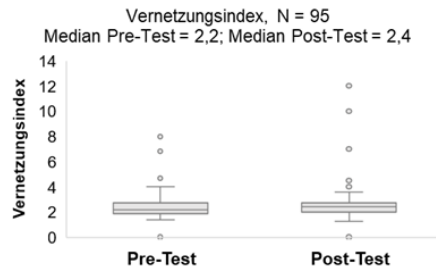
Am Beispiel einer Feldexkursion (Intervention) zu Hochwasser- und Dürreereignissen wurde mithilfe von Concept Maps die Eignung der Kombination der (geo)multimedialen Bildungsmodule mit Geländemethoden an außerschulischen Lernorten und ihr Einfluss auf das Systemdenken von Schülern untersucht. Concept Maps sind Netzwerke, die aus der Anordnung von Termini eines Themenbereiches und ihren Beziehungen zueinander resultieren. Die Begriffe (Elemente oder Knoten) werden durch Graphen verbunden, um einzelne Propositionen zwischen ihnen zu bilden. Damit einher geht die Beschriftung der Graphen durch finite Verbformen, wodurch die Beziehung zwischen den Termini klassifiziert wird. Der Grad der Komplexität unterscheidet sich durch die Anzahl der linearen Verbindungen zwischen den Elementen (Kausalketten), Verzweigungen oder Kreisläufen. Aus der Gestaltung einer Concept Map lassen sich Schlussfolgerungen zu den kognitiven Strukturen der Lernenden ableiten und somit Beiträge zur Analyse und Bewertung von Lernerfolgen leisten (Clausen, 2015; Mehren et al., 2015).

An der Interventionsstudie nahmen 95 Schüler der 9. Jahrgangsstufe eines Gymnasiums in Halle (Saale) teil. Die Exkursion unter der Leitfrage „Was haben Hochwasser und Dürre in Halle mit dem Klimawandel und mir zu tun?“ führte an das Saaleufer innerhalb der Stadt. Basis der thematischen Ausrichtung waren die extremen Hochwasser- und Dürreereignisse der Jahre 2013 und 2018 in der mitteldeutschen Region. Das Lernformat sollte den Schülern ermöglichen, den Zusammenhang zwischen dem globalen Klimawandel und lokalen extremen Wetter- und Klimaereignissen zu analysieren und innerhalb dieses Versuchsaufbaus die eigene Rolle zu bewerten. Dabei fanden Basiskonzepte der Geographie, wie z. B. der Maßstabswechsel (lokal – regional – global) sowie der zeitliche Verlauf im Sinne der Analyse von Ursache-Wirkungs-Beziehungen (Struktur und Prozess als Systemkomponenten) Anwendung (DGfG, 2017). Dadurch konnten die Schüler einerseits die lokal wahrnehmbaren Phänomene am außerschulischen Lernort und andererseits die Komplexität des globalen Klimasystems und seine Auswirkungen auf verschiedenen Maßstabsebenen erfassen. Um die aufgrund ihrer räumlichen und zeitlichen Dimensionen am Saaleufer nicht direkt sichtbaren Phänomene visualisieren zu können, wurde für die Intervention auf Grundlage der in Kap. 4 dargestellten Konzepte eigens eine digitale Lernumgebung für mobile Endgeräte entwickelt. Zusätzlich wurde mittels der Esri-Anwendung „Survey 123 for ArcGIS“ eine App zur Dateneingabe generiert. Über bereit gestellte Tablets sollten die Lernenden die von ihnen eigenständig gemessenen klimatologischen, hydrologischen und chemischen Parameter in die App eintragen und mit hier integrierten Werten zu den Jahren 2013 (Hochwasser) und 2018 (Dürre) vergleichen, um folgend die Situation zu interpretieren. Der ausführliche Ablauf der Intervention ist in Lindau et al. (2020) dargestellt.

Die Auswertungen der Concept Maps, die im Pre Post Design vor und nach der Exkursion zu erstellen waren, zeigen aufgrund der Kurzintervention lediglich erste Tendenzen zur Wirksamkeit des Exkursionsformats hinsichtlich der Förderung des Systemdenkens. Abbildung 7 stellt den Strukturindex (sx) dar ( $sx = \frac{\text{Ketten+Verzweigungen+Kreisläufe}}{\text{Gültige Elemente}}$ ), wodurch die Fähigkeit zur Darstellung komplexer Strukturen analysiert wird (Mehren et al., 2015; Ossimitz, 2000). In der Post-Concept-Map fällt der Strukturindex (0,06) geringer aus, als im Pre Design (0,14). Die Anzahl der verwertbaren Knoten ist dagegen im Post Design gestiegen (von insgesamt 739 auf 779). Infolge ist auch ein Anstieg beim Vernetzungsindex vx ( $vx = \frac{2(\text{Wertbare Beziehungen})}{\text{Gültige Elemente}}$ ) von 2,2 auf 2,4 zu verzeichnen (vgl. Abb. 8). Dieser misst die Fähigkeit zur Organisation von Systemelementen innerhalb der Concept Map. Im Rahmen der geplanten regelmäßigen Durchführung dieses Bildungsangebots soll die Intervention mehrfach wiederholt werden, um aus den jeweiligen Teilergebnissen wissenschaftlich fundierte Aussagen zu den Potenzialen und Herausforderungen bei der Förderung des Systemdenkens der Lernenden abzuleiten. Damit einhergehen sollen Empfehlungen zur Kombination von außerschulischen Lernorten, Feld- und Messkampagnen und geo-multimedialen Lernformaten, um bei Schülern und Studierenden ein verbessertes Systemverständnis für komplexe Landschaftsprozesse zu fördern.



**Abb. 7:** Strukturindex nach Mehren et al. (2015); Ossimitz (2000)



**Abb. 8:** Vernetzungsindex nach Clausen (2015); Ossimitz (2000)

## 6 Fazit und Ausblick

Die derzeitigen wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten, E-Learning-Formate in Bildungsangebote für Schüler und Studierende zu integrieren, werden bisher noch zu wenig genutzt. Die in diesem Beitrag vorgestellten Methoden und Konzepte stellen Lösungsansätze zur Integration einer breiten Palette von Geoinformationstechnologien innerhalb verschiedener Bildungsformate zu einer BNE dar. Sie lassen sich nicht nur im Rahmen von Blended-Learning-Szenarien an Schulen und Universitäten nutzen, sondern auch durch berufsbildende Schulen, Fachbehörden, Politik und die interessierte Öffentlichkeit. Die Story-Map-basierten Lernmodule bieten den Nutzern Potenziale, die Auswirkungen des Klimawandels anhand repräsentativer Fallbeispiele und Szenarien Mitteldeutschlands zu analysieren sowie mögliche Anpassungsmaßnahmen zu identifizieren und zu bewerten. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf andere Regionen Deutschlands mit ähnlicher Naturraumausstattung im Kontext einer BNE übertragen, da die Themen Klimawandel und insbesondere Klimaanpassungsstrategien eine hohe Gegenwarts- und Zukunftsrelevanz aufweisen und mittlerweile einen festen Platz innerhalb des deutschlandweiten Geographie- bzw. Erdkundeunterrichts einnehmen. Somit ist eine regional übergreifende Integration der Online-Lernformate in relevante Curricula der geographischen Aus- und Weiterbildung an deutschsprachigen Schulen und Universitäten durchführbar.

Die plattformunabhängige Nutzung ermöglicht orts- und zeitunabhängige Bearbeitungsmöglichkeiten der bereit gestellten Themen, die Berücksichtigung des individuellen Lernstatus und der Lerngeschwindigkeit und eine unmittelbare Selbstkontrolle des Lernerfolgs. Die Nutzung der Online-Tools erfordert ein Hochgeschwindigkeits-Internet, das an einigen Schulen in Deutschland noch nicht verfügbar ist. Derzeit soll jedoch der bundesweite „DigitalPakt Schule“ zu einer verbesserten technischen Infrastruktur in den Schulen beitragen und eröffnet somit breite Potenziale für den Einsatz der Online-Lernformate.

Die Lernumgebung soll konsequent weiterentwickelt und verstetigt werden. Mit dem Aufbau eines virtuellen Kurses in Form eines Massive Open Online Course (MOOC) ist auf Basis der dargestellten Grundlagen ein weiteres Lernformat im Rahmen einer BNE-bezogenen Kommunikation geplant, welcher sich in seiner mediendidaktischen Konzeption an dem KlimaMOOC des Deutschen Klima-Konsortiums orientieren soll (DKK, 2015).

Aktuell besteht eine große Nachfrage des Exkursionsangebotes, sodass weitere Thementage mit variierenden Schwerpunktthemen zur Klimaanpassung konzipiert und für die gymnasiale Oberstufe monatlich angeboten werden sollen. Auf der Grundlage der bereits evaluierten mediendidaktischen Konzeption und Themenkomplexe der Lernumgebung kann jeweils eine umgehende Berücksichtigung aktueller Fallbeispiele mit geringen Entwicklungszeiten von etwa einer Woche erfolgen.

## Literatur

- Bofferding, L., & Kloser, M. (2015). Middle and high school students' conceptions of climate change mitigation and adaptation strategies. *Environmental Education Research*, 21, 275–294. Retrieved Jul 10, 2019, from doi: 10.1080/13504622.2014.888401.
- Brasseur, G. P., Jacob, D., & Schuck-Zöller, S. (2017). *Klimawandel in Deutschland*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2017). *Agrarmeteorologie*. Bonn.
- Clausen, S. (2015). *Systemdenken in der außerschulischen Umweltbildung. Eine Feldstudie*. Münster/New York: Waxmann.
- Clifford, N. J., Cope, M., Gillespie, T., & French, S. (Eds.) (2016). *Key methods in geography* (3rd Ed.). Los Angeles/London/New Delhi/Singapore: SAGE.
- Deutsches Klima Konsortium (DKK) (2015). *KlimaMOOC*. Retrieved May 04, 2020, from <https://bit.ly/35zNvmb>
- DGfG (2017). *Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Fach Geographie* (9th Ed.). Bonn: Selbstverlag.
- Engagement Global (Eds.) (2018). *Orientierung gefragt – BNE in einer digitalen Welt*. Diskussionspapier zur wechselseitigen Ergänzung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung und Digitaler Bildung im Bereich Schule. Retrieved May 04, 2020, from <https://bit.ly/3aZRKIV>
- Esri (2012). *Telling stories with maps: a white paper*. Retrieved Jan 10, 2020, from <https://bit.ly/2xuYocj>.
- Gutting, R., Hübsch, B., Meinel, G., & Wende, W. (2019). Raumbezogenes Storytelling in der Mensch Umwelt Bildung. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 51(8), 382–389.
- Harris, D. M. (2019). Telling Stories about Climate Change. *The Professional Geographer*, 1–8.
- IPCC (Eds.) (2015). *Climate change 2014: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri & L. A. Meyer (Eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.
- KMK & BMZ (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung* (2nd Ed.). Bonn: Engagement Global GmbH.
- Kreienkamp, F., Spekat, A., & Enke, W. (2013). *Durchführung einer Untersuchung zu den Folgen des Klimawandels in Sachsen-Anhalt*. Teilbericht Los 1.1 und 1.2: Klima und Extreme. Climate and Environment Consulting Potsdam GmbH im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt unter fachlicher Begleitung des Landesamts für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle (Saale).

- MacDonald, J. (2006). *Blended learning and online tutoring: A good practice guide*. Gower, Aldershot, Hamps., England, Burlington, VT.
- Mehren, R., Rempfler, A., Ulrich-Riedhammer, E. M., Buchholz, J., & Hartig, J. (2015). Wie lässt sich Systemdenken messen? Darstellung eines empirisch validierten Kompetenzmodells zur Erfassung geographischer Systemkompetenz. *Geographie und Schule*, 6, 1–22.
- Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalts (MW Sachsen-Anhalt) (2014). *Regionale Innovationsstrategie Sachsen-Anhalt 2014-2020*.
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE) (2019). *Strategie des Landes zur Anpassung an den Klimawandel*.
- MPFS (Eds.) (2018). *JIM-Studie 2018. Jugend, Information, Medien. Basisuntersuchung zum Medienumgang der 12-bis 19-Jährigen in Deutschland*. Retrieved Jan 10, 2020, from <https://bit.ly/2WodJ71>.
- Lindau, A. K., Schürmann, A., & Thürkow, D. (2020): Den Klimawandel interaktiv erforschen – vom öffentlichen Lernort zum Systemdenken. In: M. Stein, M. Jungwirth, N. Harsch, & Y. Korflür (Eds.), *Schriften zur allgemeinen Hochschuldidaktik*, 5. Münster: WTM.
- Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. München: Profil.
- ReKIS (2019). *Regionales Klimainformationssystem für Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen*. Retrieved May 04, 2020, from <https://bit.ly/2zXaXOD>.
- Rost, J., Lauströer, A., & Raack, N. (2003). Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie*, 8(52), 10–15.
- Rempfler, A., & Uphues, R. (2010). Sozialökologisches Systemverständnis: Grundlage für die Modellierung von geographischer Systemkompetenz. *Geographie und ihre Didaktik*, 4(38), 205–217.
- Schmidt, G., Frühauf, M., & Dammann, S. (2010). Regional adaptation to climate change – supporting land management decisions in the Central German dry region by geoecological research. *The Problems of Landscape Ecology*, 111–122.
- Sebald, C. (2019). So sieht das Klima der Zukunft in Bayern aus. *Süddeutsche Zeitung*. Retrieved Feb 01, 2020, from <https://bit.ly/3c2nePN>.
- Thürkow, D., Lindau, A.-K., Schmidt, G., Illiger, P., Krause, Ch., Gerstmann, H., & Schürmann, A. (2019). Using Interactive Story Maps enriched by direct Knowledge Queries for the Development of E-learning Modules on Climate Change. *KN – Journal of Cartography and Geographic Information*, 69(3), 195–204.