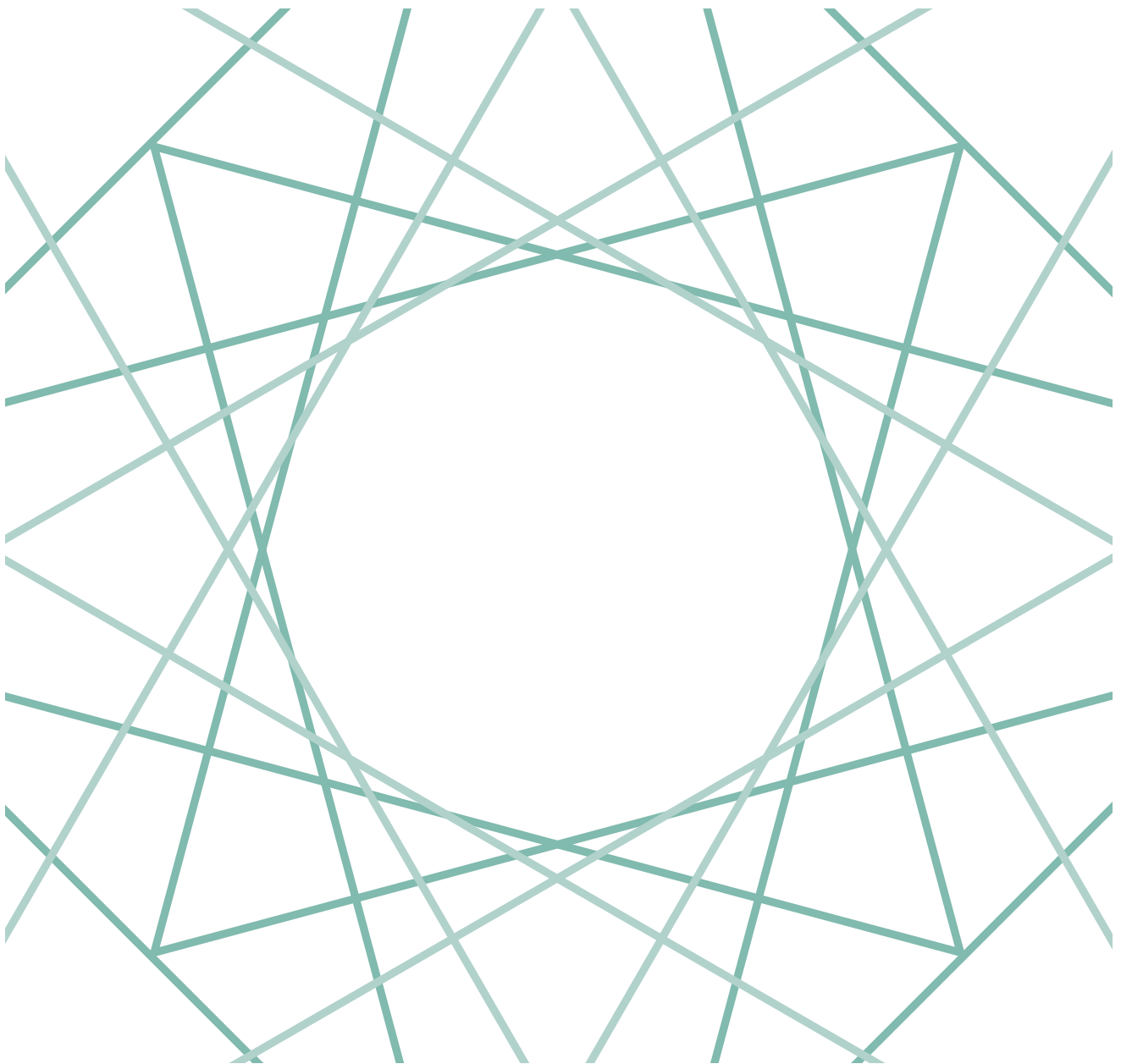


# Minderung der Bodenerosion als Maßnahme der kommunalen Klimaanpassung: Einsatz von Modellen und Geoinformationssystemen auf der Grundlage partizipativer Methoden

Prof. Dr. Andrea Heilmann, Prof. Dr. Hardy Pundt, Martin Scheinert,  
Prof. Dr. Frido Reinstorf, Janine Köhn



# Impressum

## Inhaltlich verantwortlich

Autorinnen und Autoren der Veröffentlichung

## Institution

Der Fachbereich Automatisierung und Informatik ist ein Fachbereich der Hochschule Harz. Die Hochschule Harz ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Sie wird durch den Rektor Prof. Dr. Folker Roland gesetzlich vertreten: info@hs-harz.de.

## Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

DE231052095

## Adresse

Hochschule Harz  
Fachbereich Automatisierung und Informatik  
Friedrichstraße 57-59  
38855 Wernigerode

## Kontakt

Dekanin des Fachbereiches Automatisierung und Informatik  
Prof. Dr. Andrea Heilmann  
**Tel.:** +49 3943 659 300  
**Fax:** +49 3943 659 300  
**E-Mail:** dekanin-ai@hs-harz.de

## Aufsichtsbehörde

Das Ministerium für Wirtschaft, Wissenschaft und Digitalisierung des Landes Sachsen-Anhalt (MW), Hasselbachstraße 4, 39104 Magdeburg, ist die zuständige Aufsichtsbehörde.

## ISSN 2702-2293

## Haftungsausschluss

Die Hochschule Harz weist auf Folgendes hin:

Die Hochschule Harz ist lediglich für die Veröffentlichung der einzelnen Werke zuständig, sie übernimmt keinerlei Haftung. Vielmehr gilt Folgendes:

- für den Inhalt der Publikation ist der/die Autor/-in verantwortlich
- mit der Erfassung in der Schriftenreihe Wernigeröder Automatisierungs- und Informatik-Texte verbleiben die Urheberrechte beim Autor/bei der Autorin
- die Einhaltung von Urheber- und Verwertungsrechten Dritter liegt in der Verantwortung des Autors/der Autorin

Vor Veröffentlichung bestätigte der/die Autor/-in,

- dass mit der Bereitstellung der Publikation und jedes Bestandteils (z.B. Abbildungen) nicht gegen gesetzliche Vorschriften verstoßen wird und Rechte Dritter nicht verletzt werden
- dass im Falle der Beteiligung mehrerer Autoren am Werk der/die unterzeichnende Autor/-in stellvertretend im Namen der übrigen Miturheber/-innen handelt
- im Falle der Verwendung personenbezogener Daten den Datenschutz (durch Einholen einer Einwilligung des Dritten zur Veröffentlichung und Verbreitung des Werks) zu beachten
- dass im Falle einer bereits erfolgten Veröffentlichung (z.B. bei einem Verlag) eine Zweitveröffentlichung dem Verlagsvertrag nicht entgegensteht
- dass die Hochschule Harz von etwaigen Ansprüchen Dritter (z.B. Mitautor/-in, Miturheber/-in, Verlage) freigestellt ist

# Minderung der Bodenerosion als Maßnahme der kommunalen Klimaanpassung: Einsatz von Modellen und Geoinformationsdiensten auf der Grundlage partizipativer Methoden

---

Prof. Dr. Andrea Heilmann, Prof. Dr. Hardy Pundt, Martin Scheinert, M.Eng.  
Hochschule Harz - Hochschule für angewandte Wissenschaften (FH), FB AI,  
Friedrichstraße 57-59, 38855 Wernigerode, Tel. 03943/659-876,  
Email aheilmann | hpundt | mscheinert@hs-harz.de

Prof. Dr. Frido Reinstorf, Janine Köhn, M.Eng.  
Hochschule Magdeburg-Stendal, FB Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit, Breit-  
scheidstraße 2, 39114 Magdeburg, Tel. 0391/8864-419,  
Email frido.reinstorf | janine.koehn@h2.de

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Regionale Klimaanpassungsmaßnahmen in der Modellregion Landkreis Mansfeld-Südharz – Darstellung des Projektverlaufs .....	6
2.1.	Die Projekte im zeitlichen Verlauf .....	6
2.2.	Die Modellregion Mansfeld-Südharz.....	9
3.	Methodische Grundlagen .....	13
3.1.	Grundlagen sowie Eingangsdaten der Erosionsmodelle ero-SMINF, ABAGis und BEM.....	13
3.2.	Methoden zur inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit.....	20
3.2.1.	Inter- und Transdisziplinarität in Projekten zur Klimaanpassung .....	20
3.2.2.	Die Living-Lab-Idee als Kooperationsansatz im Projekt BebeR.....	24
3.3.	Grundlagen der multikriteriellen Bewertung.....	29
4.	Ergebnisse des Projektes BebeR .....	31
4.1.	Simulationsergebnisse zur aktuellen Erosivität .....	31
4.2.	Maßnahmenentwicklung zur Erosionsminderung.....	35
4.3.	Das interaktive, webbasierte Kartensystem.....	41
4.3.1.	Online-Dienste zur transdisziplinären Zusammenarbeit.....	42
4.3.2.	Interaktives Forum .....	43
4.3.3.	Umgang mit Unsicherheit im Rahmen der Entscheidungsunterstützung .....	45
4.4.	Multikriterielle Bewertung der Maßnahmen zur Erosionsminderung .....	46
4.4.1.	Kriteriendefinition und -gewichtung.....	46
4.4.2.	Bewertung der Maßnahmen (Planungsalternativen).....	52
4.4.3.	Aggregation und Auswertung der Planungsalternativen .....	54
4.4.4.	Zusammenfassung der Entscheidungsunterstützungsergebnisse.....	58
5.	Zusammenfassung und Ausblick .....	60
6.	Literaturverzeichnis .....	63

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Beispielregionen, Quelle: QGIS & OpenStreetMap .....	9
Abbildung 2: Steil abgebrochene/ erodierte Ufer am Regenbeek, Foto Köhn (2015).....	11
Abbildung 3: Uferrutschungen am Vietzbach, Foto Hooper (2014) .....	12
Abbildung 4: Schema der entwickelten Erosionsmodelle .....	13
Abbildung 5: ABAG-Gleichung mit allen Faktoren und Darstellung der natürlichen und bewirtschaftungsabhängigen Einflüsse .....	15
Abbildung 6: Karten der Geländehöhe (oben), Landnutzung (Mitte) und Bodensubstrat (unten) des Landkreis Mansfeld-Südharz.....	17
Abbildung 7: Verwendete Niederschlagsstationen im Landkreis Mansfeld-Südharz und seiner Umgebung sowie mittlerer jährlicher Niederschlag .....	18
Abbildung 8: Schematische Darstellung interdisziplinäre Forschung [SCHULTE, 2018 nach (CRONIN, 2008 )].....	21
Abbildung 9: Transdisziplinäre Forschung [SCHULTE, 2018 nach (CRONIN, 2008)].....	22
Abbildung 10: Entscheidungsfindungsprozess unter Einbeziehung aller Akteure im BebeR-Projekt ([PUNDT & HEILMANN, 2020], verändert) .....	28
Abbildung 11: Darstellung des 5-Stufigen Bewertungs- und Priorisierungsprozesses der Anpassungsmaßnahmen, Quelle: [BMVBS, 2013, S.9].....	30
Abbildung 12: Potentielle Erosivität im Planungsgebiet des Vietzbaches (Ergebnis des ABAGis) (a) mit Detailansicht (b).....	33
Abbildung 13: Potenzieller Bodenabtrag im Planungsgebiet Vietzbach (Zahlen als Gebietsmittel bzw. relative Änderung im Vergleich zur Referenz) in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung .....	36
Abbildung 14: Mittlerer jährlicher Bodenabtrag der SRES- und RCP-Modelle im Vergleich Gegenwart für nahe Zukunft bzw. ferne Zukunft (mit Spannweite der Klimamodellensembles).....	37
Abbildung 15: Geodaten aus verschiedenen Sektoren können inter- und transdisziplinär integriert werden und dienen der Entscheidungsunterstützung für alle relevanten Akteure (Quelle: [Pundt 2017]). .....	42
Abbildung 16: GIS-gestützte Standortsuche für ein Regenrückhaltebecken auf der Grundlage eines digitalen Geländemodelles, Luftbildern und verschiedener Fachdatenlayer – Karten als Kommunikationsmedium unterstützen Inter- und Transdisziplinarität (Bildquelle: <a href="http://www.klimpass.de">www.klimpass.de</a> ).....	43
Abbildung 17: Das interaktive Nutzerforum auf der BebeR-Projekt-Website (hier gezeigt der geschützte Zugangsbereich zum Forum für Projektakteur*innen) wurde im Gegensatz zum GIS-gestützten Kartensystem nur sporadisch genutzt (Bildquelle: <a href="http://www.klimpass.de">www.klimpass.de</a> ).....	44
Abbildung 18: Kategorisierung von Wissen und Unsicherheit [GRANGER MORGAN et al. 2009, verändert] .....	45
Abbildung 19: Auszug aus dem Bewertungsbogen zum Gewässer Regenbeek .....	49
Abbildung 20: Ergebnisdarstellung der Präferenzenmatritzen - Regenbeek (PRIMATE) .....	54
Abbildung 21: Ergebnisdarstellung der Präferenzenmatritzen - Vietzbach (PRIMATE) .....	54

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Projekte der kommunalen Klimaanpassung im Landkreis Mansfeld-Südharz in den Jahren 2011-2020 .....	8
Tabelle 2: Überblick über die verwendeten global-regional Klimamodelle (RCP.8.5).....	19
Tabelle 3: Citizen Science-Ansätze (nach [Rückert-John et al., 2017] und [HENNING et al., 2017])	23
Tabelle 4: Methodische Living-Lab Ansätze .....	25
Tabelle 5: Ergebnisse von ero-SMINF für das Beispielgebiet Vietzbach: Untersuchung der Erosivität von Frühjahrsniederschlägen (April-Juni) von 2007 bis 2018 .....	31
Tabelle 6: Ergebnisse von ero-SMINF für das Beispielgebiet Vietzbach: Untersuchung der Erosivität von Sommerniederschlägen (Juli-September) von 2007 bis 2018.....	32
Tabelle 7: Eingabe und Ergebnisse der Berechnung mit dem Bachbetterosionsmodell: Kritische Werte.....	33
Tabelle 8: Monats- und Jahresmittelwerte des Niederschlags für die Vergangenheit (gemessener Niederschlag der Station Mansfeld-Annarode), und für die nahe Zukunft und ferne Zukunft (RCP-Klimamodelle) .....	37
Tabelle 9: Absolute und relative Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeit (v) bei veränderten Rauigkeitswerten, von hydraulische glatt (hohe Werte) bis hydraulisch rau (niedrige Werte) .....	39
Tabelle 10: Absolute und relative Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeit (v) bei veränderter Gerinnegeometrie - Gerinnebreite .....	39
Tabelle 11: Absolute und relative Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeit (v) bei veränderter Gerinnegeometrie - Uferneigung .....	39
Tabelle 12: Übersicht der Kriterien nach Zielen geordnet inkl. ihrer Gewichtungsangaben für das Gewässer Regenbeek .....	50
Tabelle 13: Übersicht der Kriterien nach Zielen geordnet inkl. ihrer Gewichtungsangaben für das Gewässer Vietzbach .....	51
Tabelle 14: Gemittelte Kriterienbewertung der Skalenkriterien für jede Maßnahme am Gewässer Vietzbach .....	52
Tabelle 15: Gemittelte Kriterienbewertung der Skalenkriterien für jede Maßnahme am Gewässer Regenbeek.....	53
Tabelle 16: Nettoflussberechnung und Rangfolgenderstellung der Maßnahmen am Regenbeek.....	56
Tabelle 17: Ergebnisdarstellung der Rangfolge aller Maßnahmen (Regenbeek) .....	56
Tabelle 18: Nettoflussberechnung und Rangfolgenderstellung der Maßnahmen am Vietzbach .....	57
Tabelle 19: Ergebnisdarstellung der Rangfolge alle Maßnahmen (Vietzbach) .....	57

## 1. Einleitung

Die Thematik der Veränderung des Klimas und den sich daraus ergebenden Handlungsoptionen ist in der Breite der Gesellschaft angekommen. Die beobachteten Tendenzen und die modellbasierten Projektionen zum Klimawandel zeigen einen deutlichen mittel- bis langfristigen Handlungsbedarf in zahlreichen gesellschaftlichen Bereichen. Dabei stehen die Auswirkungen sich verändernder natürlicher Bedingungen und insbesondere die Anpassung an diese im Fokus. Die globale Herausforderung dazu beschreibt das International Panel of Climate Change [IPCC, 2013/14] wie folgt:

„Der Prozess ... [der Anpassung ist] ... die Ausrichtung auf das tatsächliche oder erwartete Klima und dessen Auswirkungen. In Systemen des Menschen ist Anpassung darauf ausgerichtet, Schäden zu vermindern oder zu vermeiden, oder vorteilhafte Möglichkeiten zu nutzen. In einigen natürlichen Systemen kann die Anpassung an das erwartete Klima und dessen Auswirkungen durch Eingreifen des Menschen ermöglicht werden.“

Auf der nationalen Ebene der Bundesrepublik Deutschland wurde diesbezüglich durch die Erarbeitungen einer „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“ [Bundesregierung, 2008] und des Aktionsplans Anpassung [Bundesregierung, 2011] der Rahmen für erforderliche Maßnahmen erarbeitet. Weiterhin erfolgte im Jahr 2015 die Veröffentlichung des Monitoringberichts zur Deutschen Anpassungsstrategie [UBA, 2015] sowie des Fortschrittsberichts zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel [Bundesregierung, 2015], der u.a. den aktualisierten Aktionsplan Anpassung II enthält. Ergänzung findet dieser Rahmen in der Ausarbeitung von Anpassungsstrategien der einzelnen Bundesländer. Eine besondere Bedeutung der Kommunen kann dabei übergreifend in allen Anpassungsstrategien festgestellt werden. Bezüglich der lokalen Effekte des Klimawandels sind diese vielfältig von den Auswirkungen betroffen und sollen daher eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung konkreter Maßnahmenplanungen bekommen. Zu nennen sind beispielsweise die Stadt- und Regionalplanung, Maßnahmen zum Hochwasserschutz und zur Gefahrenabwehr. Bürgerinnen und Bürger sollen dabei in die kommunalen Anpassungsprozesse von Beginn an einbezogen werden, um durch Transparenz die Umsetzung der Maßnahmen zu erleichtern. Mit einer entsprechenden Unterstützung sollen die Kommunen in die Lage versetzt werden, den Anpassungsprozess zu gestalten, selbst über die notwendigen Anpassungsmaßnahmen zu befinden und die Umsetzung steuern zu können.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) fördert im Rahmen der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)“ verschiedene Maßnahmen in Form von Leuchtturmprojekten, die regionale und überregionale Beispielfunktionen erfüllen sollen.

Im Rahmen dieses Förderprogramms wurden im Landkreis Mansfeld-Südharz (Sachsen-Anhalt) zwei Projekte durchgeführt. Das diesem Beitrag zugrundeliegende Projekt „Bodenerosionsminderung in bergigen Regionen am Beispiel des Landkreis Mansfeld-Südharz (BebeR)“ (Laufzeit 01/2017-02/2020) schließt dazu gezielt an Vorläuferprojekte, wie Klimpass (10/2010-12/2011, gefördert vom Land Sachsen-Anhalt, und Klimpass-Aktiv (06/2013-05/2016) an. Diese beiden Vorläuferprojekte, in welchen die Erstellung eines Klimaanpassungskonzeptes für die Region sowie die Erarbeitung und Umsetzung verschiedener Klimaanpassungsmaßnahmen umgesetzt wurden, führten u.a. zu dem Ergebnis, dass ein vordringliches Problem in dieser hügelig-bergigen Region des Südharzes in der Bodenerosion mit fluviatilen Abträgen bis hin zu Hangrutschungen besteht. Dieses Problem wird nach aktuellem Kenntnisstand in der Zukunft noch gravierendere Ausmaße annehmen. Da der fluviale Transport maßgeblich ein wassergebundener Transport ist, wurden als Beispielgebiete Gewässereinzugsgebiete der Region identifiziert, deren Expositionen unterschiedliche Formen der Bodenerosion begünstigen. Für diese wurden nachfolgend zielgerichtet Methoden entwickelt, die anhand einer Ursachen-Wirkungs-Kette eine Analyse und eine Planung von notwendigen Maßnahmen zur Reduzierung der Bodenerosion und damit zur Minderung von Klimawandelauswirkungen ermöglichen. Zur Umsetzung und Implementierung der Projektergebnisse dient ein Entscheidungshilfesystem, das die Entscheidungsprozesse, in die unterschiedliche gesellschaftliche Akteur\*innen einbezogen werden, strukturiert und transparent gestaltet. Damit soll neben der inhaltlich-fachlichen Unterstützung auch der Mediationsprozess zu einer gemeinschaftlichen Lösung entstehender Zielkonflikte gestützt werden. Das Ziel besteht ferner darin, die gesammelten Projekterfahrungen und Werkzeuge auf die Landkreisebene auszuweiten, sowie anschließend auch an Interessierte mit analogen Problemstellungen, insbesondere in topografisch ähnlich charakterisierten Regionen, weiterzugeben.



## **2. Regionale Klimaanpassungsmaßnahmen in der Modellregion Landkreis Mansfeld-Südharz – Darstellung des Projektverlaufs**

### **2.1. Die Projekte im zeitlichen Verlauf**

Die United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) erklärt, dass "Anpassung, sich auf die Maßnahmen bezieht, die die Länder ergreifen müssen, um auf die Auswirkungen des Klimawandels zu reagieren, die bereits geschehen, während sie sich gleichzeitig auf zukünftige Auswirkungen vorbereiten. Erfolgreiche Anpassungsaktivitäten erfordern auch die wirksame Einbeziehung von Interessengruppen - darunter nationale, regionale, multilaterale und internationale Organisationen, der öffentliche und private Sektor sowie die Zivilgesellschaft - und das Management des Anpassungswissens bei jedem Schritt" [UNFCCC, 2019]. Das Zitat verweist deutlich auf die Notwendigkeit inter- und transdisziplinärer Forschung und Zusammenarbeit zur Stärkung der Widerstands- und Anpassungsfähigkeit gegenüber klimabedingten Gefahren.

Von diesem Grundgedanken der inter- und transdisziplinären Forschung und Zusammenarbeit waren alle Projekte geleitet, welche seit 2011 in der Modellregion Landkreis Mansfeld-Südharz im Süden Sachsen-Anhalts durchgeführt wurden. Die Region wird im nachfolgenden Kapitel noch näher beschrieben.

Die Arbeiten zur kommunalen Klimaanpassung wurden in drei Phasen durchgeführt. Ziel der ersten vom Land Sachsen-Anhalt geförderten Phase (Projekt "Klimpass", 2011 - 2012) war die Erarbeitung einer lokalen Anpassungsstrategie. Darin wurden die nachfolgend genannten zehn Handlungsfelder mit spezifischen Themen identifiziert und für jedes Handlungsfeld konkrete Aufgaben erarbeitet (siehe auch: <https://klimpass.de/klimpass-aktiv>):

1. Handlungsfeld (HF) Anpassungskonzept:  
Kontinuierliche Weiterentwicklung der Maßnahmen
2. HF Bodenerosion:  
Minderung des Bodenabtrags von landwirtschaftlich genutzten Flächen
3. HF Gefahrenabwehr:  
Ableitung von Verbesserungen in der Gefahrenabwehr bei Extremwetterereignissen
4. HF Gewässerunterhaltung:  
Berücksichtigung klimatischer Veränderungen bei der Unterhaltung von Gewässern II. Ordnung

5. HF Neophyten:  
Untersuchung der Entwicklung von invasiven Neophyten im Landkreis Mansfeld-Südharz
6. HF Öffentlichkeitsarbeit:  
Insbesondere Bildungsarbeit im Biosphärenreservat Karstlandschaft Südharz
7. HF Stadt- & Regionalplanung:  
Nutzung und Anpassung vorhandener Planungsinstrumente der Stadtplanung an die Folgen des Klimawandels
8. HF Waldanpassung:  
Unterstützung der Waldanpassung unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen
9. HF Vernässung:  
Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Vernässung landwirtschaftlicher Flächen
10. HF Wasserver- & Abwasserentsorgung:  
Anpassung der Wasserver- und Abwasserentsorgung an den Demographischen- und Klimawandel

In der zweiten Phase (Projekt "Klimpass-Aktiv", 2013 - 2016), gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Rahmen eines Förderprogramm zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS), war die Weiterentwicklung, Umsetzung und Evaluation von konkreten Anpassungsmaßnahmen vorgesehen. Diese Phase umfasste mehrere Aktivitäten. Beispielsweise wurde im Handlungsfeld Gewässerunterhaltung eine Arbeitsgruppe gebildet, welche als einen Schwerpunkt der Arbeit die Anpassung der Unterhaltung von Gewässern II. Ordnung, insbesondere unter Berücksichtigung zunehmender Starkniederschlagsereignisse, identifizierte. Eine erste Pilotstudie zur Maßnahmenabschätzung wurde durchgeführt. Das Handlungsfeld steht in Verbindung mit weiteren Handlungsfeldern, wie Bodenerosion, Stadt-/ Gemeindeplanung, Abwasserentsorgung und Öffentlichkeitsarbeit und erfordert in besonderem Maße eine enge Zusammenarbeit zwischen vielen Akteur\*innen.

Weitere konkrete Projektergebnisse waren beispielsweise: die Bewertung und Weiterentwicklung eines vorhandenen Mulden-Rigolen-Systems (MRS) im einem städtischen Gebiet (HF Stadtplanung); die Erarbeitung einer Wanderausstellung zur Thematik Klimaanpassung und Klimaschutz (HF Öffentlichkeitsarbeit); die Einrichtung von zwei neu angelegten phänologischen Schulgärten (HF Öffentlichkeitsarbeit). In allen Teilprojekten erfolgte eine enge Zusammenarbeit zwischen der Hochschule Harz, den

Vertreter\*innen der Verwaltung sowie weiteren Stakeholder\*innen unter Nutzung unterschiedlicher methodischer Ansätze der transdisziplinären Forschung und Zusammenarbeit (siehe Tabelle 1).

Das Projekt "BebeR", das von 2017 - 2020 andauerte und ebenfalls vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert wurde, befasst sich mit konkreten Maßnahmen zur Minderung der Bodenerosion. Dieses Vorhaben vertieft wiederum die bereits beschriebenen Arbeiten des HF Gewässerunterhaltung. Ziel des Projektes ist es zu demonstrieren, wie ein Planungs- und Abwägungsprozess zur Minderung der Bodenerosion mit Berücksichtigung des Klimawandels und unter Einbeziehung unterschiedlicher Akteur\*innengruppen (Kommune, Bevölkerung, Landwirtschaft, Naturschutz) im vorrangig ländlichen Raum einer bergigen Region erfolgen kann. Als modellhafte Planungsgebiete sind zwei Gewässereinzugsgebiete repräsentativ für Flächen- und Gewässerbetterosion des Landkreises Mansfeld-Südharz ausgewählt worden, welche im nachfolgenden Kapitel beschrieben werden. Die Aufstellung verdeutlicht, dass die einzelnen Phasen sich immer detaillierter mit Konzepten und Maßnahmen der kommunalen Klimaanpassung befassen, wobei ein Kennzeichen aller Phasen die inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit war (siehe dazu Tabelle 1).

*Tabelle 1: Übersicht über die Projekte der kommunalen Klimaanpassung im Landkreis Mansfeld-Südharz in den Jahren 2011-2020*

<b>Phase/ Projekt- titel</b>	<b>Zeit- raum</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>Angewandte Methoden von transdisziplinärer Forschung (TDR)</b>
Phase 1: Klimpass	2011 – 2012	Erstellung einer lokalen Anpassungsstrategie	Interdisziplinäre Forschung und Entwicklung, Citizen Science; Third Mission Aktivitäten
Phase 2: Klimpass- Aktiv	2013 – 2016	Weiterentwicklung, Umsetzung und Evaluierung spezifischer Anpassungsmaßnahmen	Interdisziplinäre Forschung und Entwicklung, Citizen Science; Third Mission Aktivitäten
Phase 3: BebeR	2017 – 2020	Verminderung der Bodenerosion	Living lab

## 2.2. Die Modellregion Mansfeld-Südharz

Modellregion für alle dargestellten Phasen zur Entwicklung kommunaler Klimaanpassungsmaßnahmen ist der Landkreis Mansfeld-Südharz. Der Landkreis weist eine Gesamtfläche von 1.448,84 km<sup>2</sup> auf und befindet sich im Südwesten des Bundeslandes Sachsen-Anhalt, dem östlichen Harzvorland (siehe Abbildung 1).

Im Landkreis befindet sich auch das Biosphärenreservat Karstlandschaft Südharz (BRKS). Auf insgesamt 30.034 Hektar des Biosphärenreservates werden naturnahe Lebensräume wie Wälder, Offenland und Streuobstwiesen mit dem Lebens-, Erholungs- und Wirtschaftsraum im Sinne einer nachhaltigen Regionalentwicklung vereint. Namensgeberin des Biosphärenreservates ist die in Mitteleuropa einzigartige Karstlandschaft mit ihrem vielfältigen Relief, der außergewöhnlichen Geologie und der Dynamik des Karstgesteins. Mit seiner von Wäldern und Wiesen bedeckten Oberfläche gehört das Karstgebiet des Südharzes zum Typ des „grünen Karstes“ [BRKS, 2020]. Auch für das Biosphärenreservat sind Maßnahmen zur Klimaanpassung von Bedeutung, insbesondere bei der Erhaltung der Biodiversität. Darüber hinaus ist die Verwaltung ein wichtiges Mitglied für das Handlungsfeld der Öffentlichkeitsarbeit.

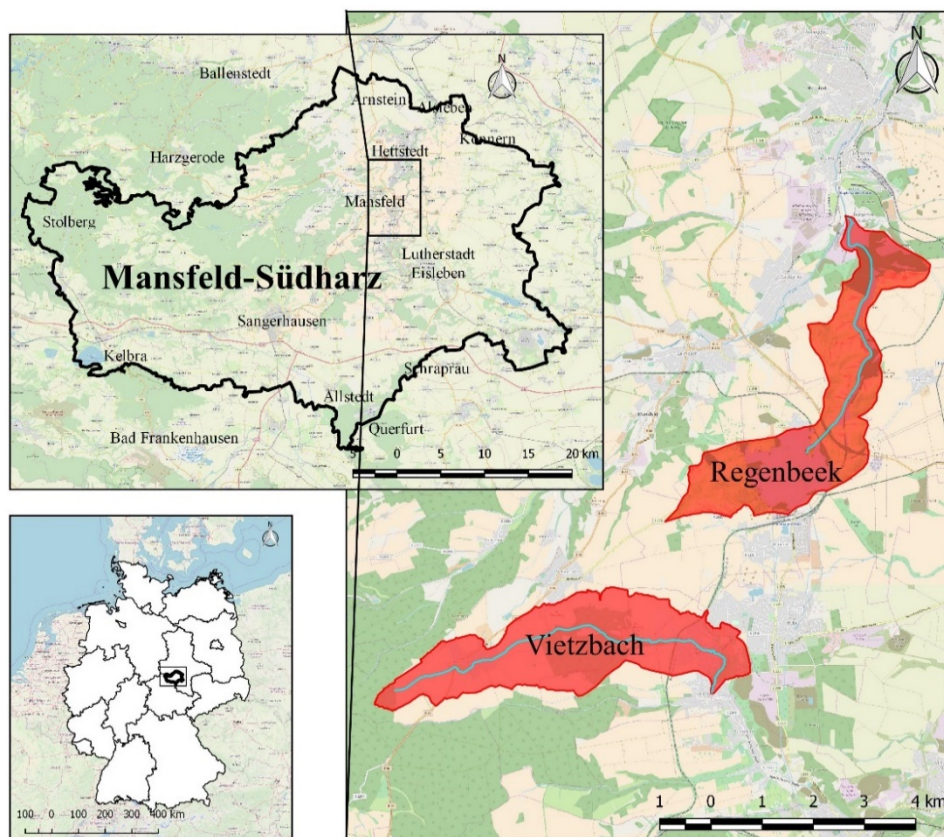


Abbildung 1: Lage der Beispielregionen, Quelle: QGIS & OpenStreetMap

Aufgrund seiner direkten Nähe zum Harz können im Gebiet hohe Hangneigungen auftreten, im Mittel liegen diese bei 5,4°, an Hängen von Fließgewässern und an der Grenze von geologischen Platten können jedoch auch Neigungen von 30° bis hin zu 72° auftreten. Im Landkreis sind vor allem tonig-schluffige Böden zu finden, welche zu den erosionsanfälligsten Böden gehören.

Neben der forstwirtschaftlichen Nutzung ist mit etwa 50% der gesamten Fläche die landwirtschaftliche Produktion von besonderer Bedeutung. Etwa 61% dieser Flächen werden mit Getreide bewirtschaftet. Erosionsanfällige Pflanzen, wie Mais, Kartoffeln und Zuckerrüben, sind dagegen flächenmäßig mit ca. 11% eher gering [STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT, 2018].

Aufgrund seiner Lage im Regenschatten des Harzes liegt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge im Landkreis Mansfeld-Südharz mit 605 mm deutlich unter dem deutschen Durchschnitt (860 mm). Trotzdem kommt es im Gebiet auch immer wieder zu Starkniederschlägen mit signifikanten Folgen. Ein Beispiel mit Erosionsfolgen sind die „Schlammlawinen“, die sich, aufgrund zweier aufeinanderfolgender Starkregenereignisse mit mehr als 20 mm Regen innerhalb einer Stunde am 24.08.11 und 04.09.11 in die Ortschaft Riestedt ergossen [HELBIG, 2012].

Für die Untersuchungen zur Bodenerosion im Projekt „BebeR“, welche den Schwerpunkt der weiteren Ausführungen darstellen, wurden zwei Beispielregionen ausgewählt. Diese sind zum einen das **Gewässereinzugsgebiet des Regenbeeks** (Alte Wipper, bei Hettstedt) und zum anderen das **Gewässereinzugsgebiet des Vietzbaches**. Im Gebiet des Regenbeeks werden seit 1970 immer wieder Böschungsabbrüche sowie eine deutliche Eintiefung des Bachbettes beobachtet. In den letzten 35 Jahren hat sich, nach Aussagen des Unterhaltungsverbandes Wipper-Weida, der Bach um bis zu ca. 2,5 m eingetieft. Teile des Regenbeeks wurden daher bereits befestigt oder geschützt, ein Teilbereich erodiert trotz Maßnahmen jedoch weiterhin (siehe Abbildung 2).





*Abbildung 2: Steil abgebrochene/ erodierte Ufer am Regenbeek, Foto Köhn (2015)*

Problematisch ist weiterhin die starke Verschlammung eines Straßenabschnittes in Hettstedt (Stadtteil Burgörner-Altendorf), über welchen der Regenbeek geleitet wird. Die Schlammmassen lagern sich vor allem nach Starkregenereignissen ab und sind zum Teil knöcheltief [BRAUN, 2007], so dass sie die Straße blockieren und stets zeitnah entfernt wieder werden müssen. Um die Verschlammung zu mindern, wurde vor Hettstedt ein Schlammfang errichtet. Die Kapazität des Schlammfanges war jedoch nach wenigen Starkregenereignissen erreicht, so dass dieser schnell unwirksam wurde. Da ein Großteil des Gebietes landwirtschaftlich genutzt wird, wurde als Ursache für den Schlammeintrag zunächst eine Erosion der Ackerflächen vermutet. Eine 2015 vorgenommene Ursachenuntersuchung ergab jedoch, dass die Erosion am Bach, hier insbesondere die Uferabbrüche und die Eintiefung, maßgeblich für die Verschlammung sind. Das Einzugsgebiet des Regenbeeks dient daher als Beispiel für ein Gebiet mit einer Fließgewässererosion, welche sich auch direkt auf vorhandene Infrastruktur auswirkt.

Das **Gewässereinzugsgebiet des Vietzbaches** wird ebenso wie das Gebiet des Regenbeeks zu einem großen Teil landwirtschaftlich genutzt. Nach Aussagen der Mansfelder Agrar e.G. und des Umweltamtes Mansfeld-Südharz ist hier nach Starkregen-

ereignissen eine flächenhafte Erosion ausgehend von den landwirtschaftlichen Flächen zu beobachten. Auffällig sind jedoch auch die partiell auftretenden Uferrutschungen am Vietzbach selbst (siehe Abbildung 3).



*Abbildung 3: Uferrutschungen am Vietzbach, Foto Hooper (2014)*

Ursachen dafür werden in hohen Oberflächenabflüssen nach Starkregenereignissen, der zu steilen Uferneigung sowie einem fehlenden Grünstreifen gesehen. Die Schlammeinträge durch die landwirtschaftlichen Flächen sowie durch die Uferrutschungen führen zu einer Verschlammung eines im Gebiet liegenden Kleinspeicherbeckens. Die Verschlammung ist aufgrund der Vernachlässigung des Beckens so massiv, dass das vorgeschaltete Absetzbecken und die Hälfte des Hauptbeckens bereits verlandet sind. Der Vietzbach stellt daher eine Beispielregion mit einer flächenhaften Erosion dar.

Beide Beispiele zeigen, dass die Folgeerscheinungen der Bodenerosion (hier die Verschlammung) im Resultat gleich aussehen, die Ursachen dafür jedoch sehr verschieden sein können und daher auch die zu ergreifenden Maßnahmen zur Reduktion. Die beteiligten Akteur\*innen benötigen Werkzeuge, die es ermöglichen, die relevante Form der Erosion zu erkennen, um dann die passenden Maßnahmen ableiten zu können.



### 3. Methodische Grundlagen

#### 3.1. Grundlagen sowie Eingangsdaten der Erosionsmodelle ero-SMINF, ABAGis und BEM

Mit dem Ziel, Kommunen, Landkreise sowie auch landwirtschaftlich Beschäftigte bei der Bestimmung von flächenhafter und gewässerbettbezogener Erosion sowie auch bei der Entwicklung von Maßnahmen zu unterstützen, wurden im BebeR-Projekt drei Modelle zu Simulation von Erosionsvorgängen entwickelt.

Die beiden flächenhaften Erosionsmodelle ero-SMINF, ABAGis und das Bachbeterosionsmodell BEM bauen auf bekannten und etablierten Methoden auf und wurden aus Gründen der Nutzungsorientierung vereinfacht, indem sie auf die speziellen Erfordernisse für die Planung reduziert wurden. Durch die Möglichkeiten Nutzungs- und Anbauvarianten sowie auch veränderliche Niederschläge einzubeziehen, können mit diesem Modellen Varianten berechnet und somit Maßnahmen zur Minimierung des Bodenverlusts erarbeitet werden (Abbildung 4).

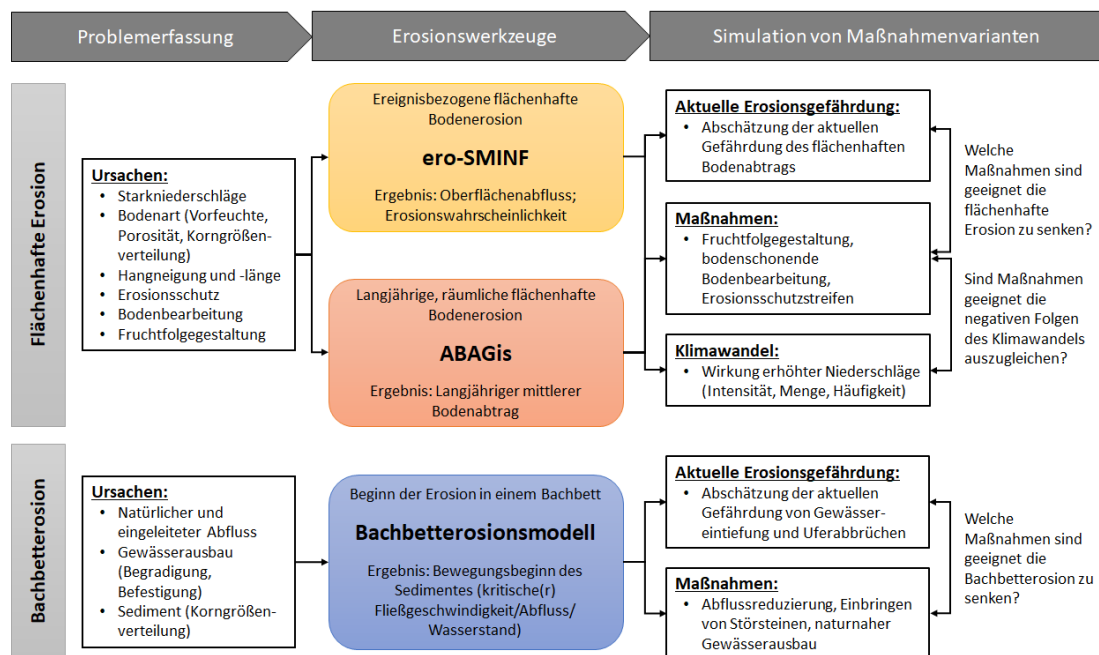


Abbildung 4: Schema der entwickelten Erosionsmodelle

Zur Abschätzung der flächenhaften Erosion auf landwirtschaftlichen Flächen wurde eine sequenzielle Modellkette aus den Erosionsmodellen ero-SMINF und ABAGis erstellt.

Ero-SMINF simuliert für ein vorgegebenes Niederschlagsereignis den Oberflächenabfluss und gibt die Erosivität – also die potentielle Fähigkeit von Wasser durch seine kinetische Energie Erosion auszulösen - in qualitativen Stufen für einem definierten



Hang an. Das Modell beruht auf dem Stufenmodell der Infiltration (SMINF) nach [PESCHKE & KUTÍLEK, 1982] und geht auf den Ansatz von [GREEN & AMPT, 1911] zurück. SMINF berechnet mit Hilfe eines zeitlich hoch aufgelösten Niederschlagsereignisses (1min...1d) die Infiltration in den Boden über die Zeit. In einem zweistufigen Ansatz werden zunächst die Sättigungskurve (bis zum Zeitpunkt an dem der Boden gesättigt ist) und anschließend die Rückgangskurve der Infiltration (verminderter Bodenwasserfluss) bestimmt. Der nicht infiltrierte Anteil, der so genannte effektive Niederschlag, wird im ero-SMINF als Oberflächenabfluss ausgewiesen. Um über den Oberflächenabfluss eine Einschätzung der Erosivität vornehmen zu können, muss die mobilisierende Strömungskomponente quantitativ eingeschätzt werden. Zunächst wird dafür mit Hilfe der Kontinuitätsgleichung der Abfluss in eine Fließgeschwindigkeit umgerechnet und anschließend mit einem kritischen Wert verglichen und so eine Aussage über die Erosivität getroffen. Liegt die berechnete Fließgeschwindigkeit über der kritischen Fließgeschwindigkeit, so ist eine flächenhafte Erosion wahrscheinlich. Hierbei wird zwischen folgenden Varianten unterschieden: „nicht wahrscheinlich“ (Oberflächenabfluss nicht ausreichend für eine Mobilisierung des Bodens), „Verschlammung“ (durch den Oberflächenabfluss wird der Boden abgetragen, jedoch handelt es sich hierbei um feineres Bodenmaterial, welches größere Poren verschließt) und „wahrscheinlich“ (Oberflächenabfluss hoch genug für einen Abtrag des Bodens). Die mittlere kritische Fließgeschwindigkeit wird mit Hilfe der Formeln nach [ZANKE, 1982] und für kohäsive Sedimente nach [HOFFMANS & VERHEIJ, 1997] berechnet.

Da ero-SMINF die Erosivität nur in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum sowie für einen definierten Hang simuliert, ist das ABAGis ergänzend dazu entwickelt worden. Das Erosionsmodell ABAGis simuliert den langjährig zu erwartenden mittleren Bodenabtrag. Die Grundlage des ABAGis, die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG, entwickelt von [WISCHMEIER & SMITH, 1978] und von [SCHWERTMANN, VOGL & KAINZ, 1987] auf mitteleuropäische Verhältnisse angepasst), wurde hierzu in ein Geoinformationssystem (GIS) integriert. Die ABAG ist die empirische Formel zur Berechnung des langjährigen mittleren jährlichen Bodenabtrags für erosionsexponierte Hänge (Abbildung 5). Eine einheitliche Vorschrift zur Berechnung der ABAG ist in der [DIN 19708] zu finden. Die Erosionsmenge wird dabei mit Hilfe von 6 Faktoren, die den Charakter des Regens, die Eigenschaften des Bodens, die Hanglänge und -neigung,

die Bedeckung und Bearbeitung des Bodens sowie die Art der Erosionsschutzmaßnahmen abbilden, abgeschätzt.

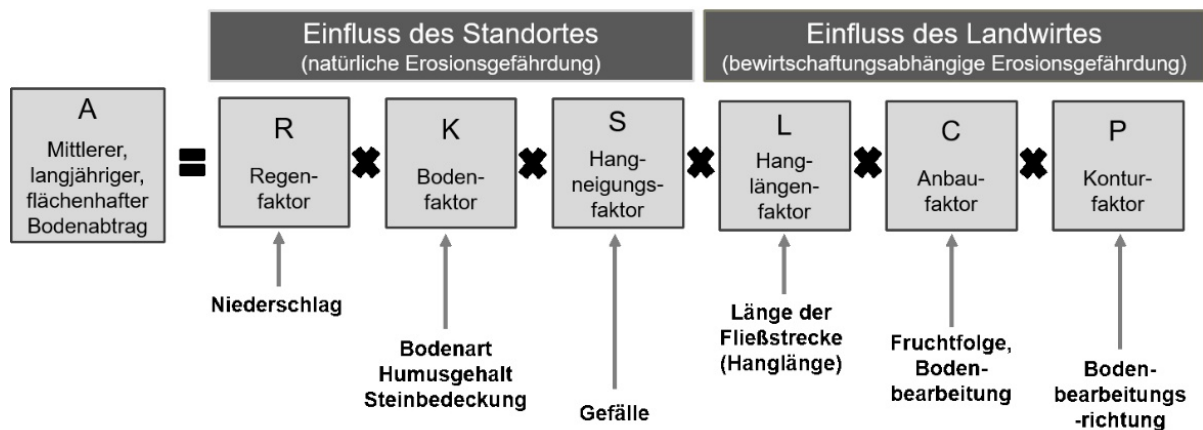


Abbildung 5: ABAG-Gleichung mit allen Faktoren und Darstellung der natürlichen und bewirtschaftungsabhängigen Einflüsse

Für die Integration in ein GIS wurde das frei verfügbare Programm QGIS (ehemals Quantum-GIS) genutzt und die 6 Faktoren in den „graphical modeler“ eingebunden. In den Berechnungsalgorithmus des R-Faktors wurden die Ländergleichungen nach [DIN 19708] verwendet. Durch das Einlesen eines Niederschlagsrasters und die Auswahl eines Bundeslandes wird dabei ein Bundesland spezifischer R-Faktor berechnet. Weiterhin wurde eine Regressionsgleichung speziell für den Landkreis Mansfeld-Südharz entwickelt und implementiert, die eine deutliche Verbesserung im Vergleich zur allgemein verwendeten landesspezifischen Berechnung darstellt. Diese lautet für den mittleren jährlichen Niederschlag ( $Nd_{Jahr}$ ):

$$R = 0,0829 \cdot Nd_{Jahr} + 28,097$$

bzw. für den mittleren Sommerhalbjahresniederschlag ( $Nd_{Som}$ ):

$$R = 0,2663 \cdot Nd_{Som} - 16,144$$

Durch die Eingabe des Niederschlags, der Geländehöhe, der Landnutzung und der Bodenart als räumliche Informationen, z.B. als Raster- oder Vektor-Dateien, werden die 6 Faktoren der ABAG-Gleichung jeweils als Raster-Dateien ausgegeben. Mittels Multiplikation der Faktoren erhält man den mittleren langjährigen flächenhaften Bodenabtrag in  $t/(ha \cdot a)$ .

BEM, das Werkzeug zur Abschätzung der Erosion in einem Fließgewässer, welche im Allgemeinen in Bachbett- und Ufererosion unterschieden wird, basiert auf den Grundlagen der Sedimentbewegung. Grundsätzlich ist die Bewegung des Sedimentes von der Fließgeschwindigkeit abhängig, die auf das Korn wirkt. Hierbei gilt, je höher die

Fließgeschwindigkeit im Gewässer, desto größere Körner können bewegt werden und je kleiner der Korndurchmesser, desto geringer ist die notwendige Fließgeschwindigkeit (Körner unterhalb von 0.3 mm unterliegen jedoch Kohäsionskräften). Die Grenzfließgeschwindigkeit ab der ein Substrat mobilisiert wird, wird auch „kritische Fließgeschwindigkeit“ genannt. Die kritische Fließgeschwindigkeit wird nach [ZANKE, 1982] für nicht-kohäsive Sedimente und nach [HOFFMANN & VERHEIJ, 1997] für kohäsive Sedimente berechnet. Über die Geometrie des Gerinnes, das Fließgefälle und den sogenannten Rauheitsbeiwert nach Strickler [MANNING, 1891 & STRICKLER, 1923] können zusätzlich auch ein kritischer Wasserstand und ein kritischer Abfluss berechnet werden. Dies soll die Anwendung des Modells in der Praxis erleichtern. So können z.B. kritische Wasserstände markiert und kontrolliert sowie die Häufigkeit einer Überschreitung überprüft werden.

Für die Simulation wird eine vergleichsweise kleine Anzahl von Eingangsdaten benötigt: Geländehöhe, Landnutzung, Bodeninformationen, Gewässerdaten (z.B. Korndurchmesser des Sedimentes, Abfluss) sowie Klimadaten (und ggf. Klimaprojektionen) zum Niederschlag. Für die Berechnung der Erosionsgefährdung im Landkreis Mansfeld-Südharz und in den zwei Planungsregionen Vietzbach und Regenbeek wurde von der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau in Bernburg (LLG) ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer Auflösung von 5x5m zur Verfügung gestellt. Des Weiteren konnten Landnutzungsdaten (Biotoptypen- und Nutzungstypenkarte BtNt) vom Landesamt für Umweltschutz (LAU) sowie Bodeninformationen in Form der (vorläufigen) Bodenkarte für Sachsen-Anhalt im Maßstab 1:50.000 (VBK50) vom Landesamt für Geologie und Bergwesen in Halle/Saale (LAGB) genutzt werden. Die im Beber-Projekt genutzten Daten sind am Beispiel des Landkreis Mansfeld-Südharz in Abbildung 6 dargestellt. Landnutzungsinformationen konnten zudem auch über das Statistische Landesamt Sachsen-Anhalt, sowie über den Bauernverband bezogen werden.

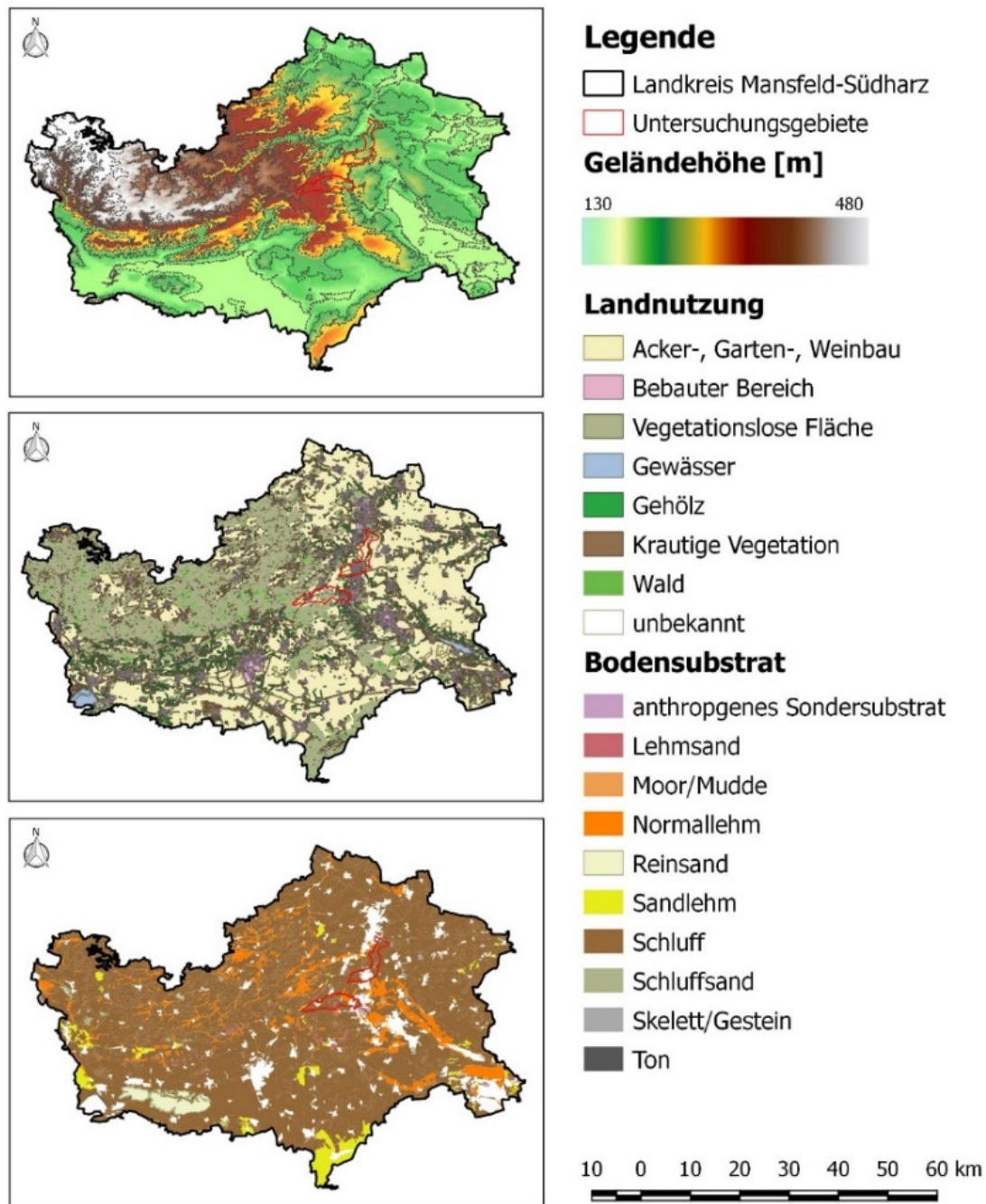


Abbildung 6: Karten der Geländehöhe (oben), Landnutzung (Mitte) und Bodensubstrat (unten) des Landkreis Mansfeld-Südharz

Niederschläge der Vergangenheit und Gegenwart wurden über den ftp-Server des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erhalten. Für die Entwicklung einer R-Faktor-Regressionsgleichung (siehe Kapitel 3.1 oben) sowie auch für die Simulation mit eroSMINF wurden 10-Minuten-Niederschläge der vergangenen 13 bis 23 Jahre von insgesamt 20 Niederschlagsstationen innerhalb des Landkreises Mansfeld-Südharz und seiner näheren Umgebung analysiert. Die Lage der verwendeten Niederschlagsstationen ist in (Abbildung 7) dargestellt.

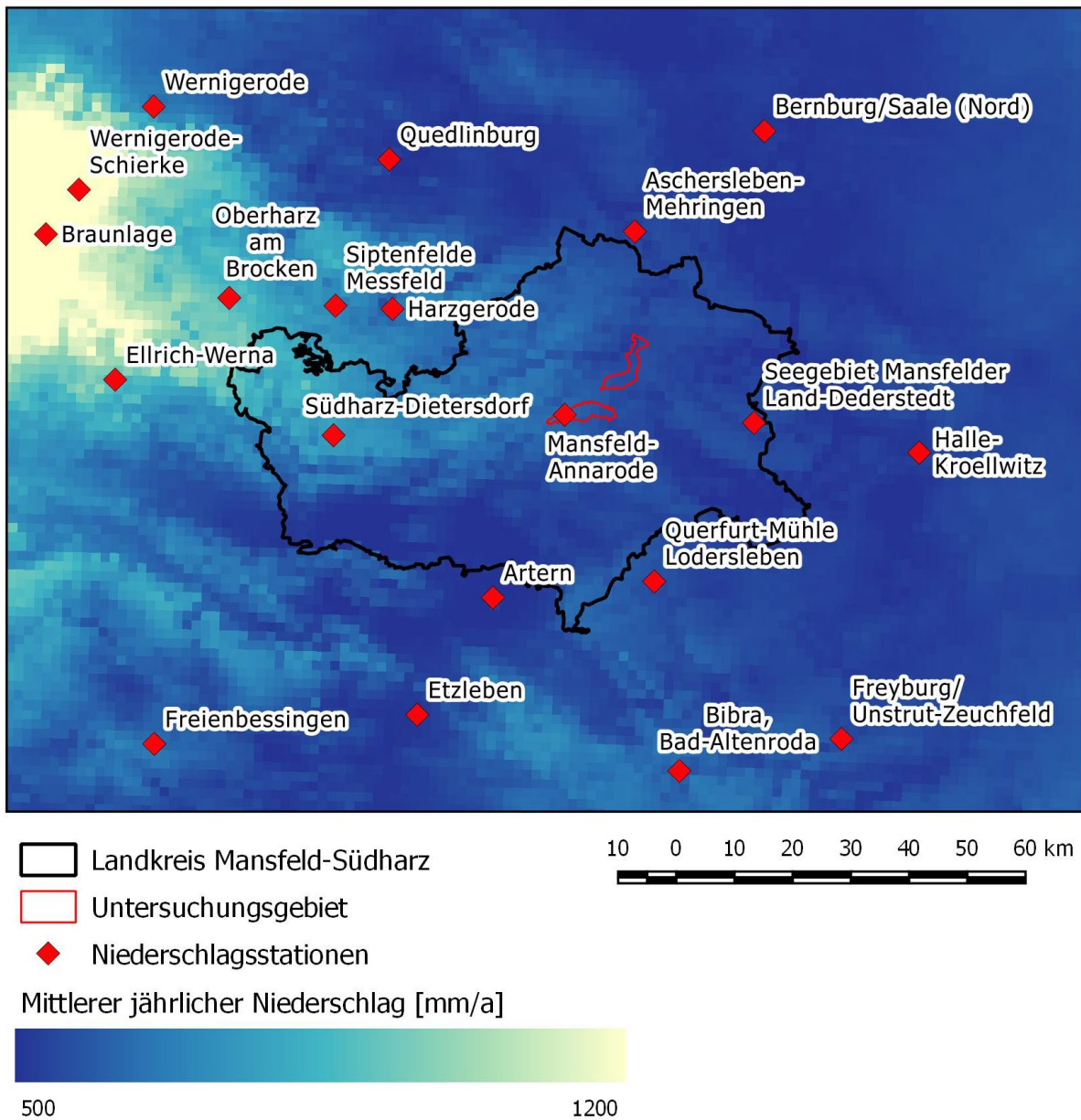


Abbildung 7: Verwendete Niederschlagsstationen im Landkreis Mansfeld-Südharz und seiner Umgebung sowie mittlerer jährlicher Niederschlag

Niederschlagsdaten wurden nicht nur als zeitliche sondern auch als räumliche Daten in Form eines Rasters genutzt. Das 30-jährige mittlere Niederschlagsraster für den Zeitraum von 1981 bis 2010 ist ebenfalls in Abbildung 7 dargestellt.

Niederschlagsprojektionen wurden zum einen aus der Arbeit von [KREIENKAMP et al., 2012] für A1B-SRES-Szenarien (4. IPCC-Sachstandsbericht) erhalten (A1B beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien mit einer ausgewogenen Nutzung von fossilen und alternativen Energiequellen; SRES - Special Report on Emission Scenarios). Zum anderen konnten RCP-Szenarien (5. IPCC-Sachstandsbericht) (RCP - representative concentration pathway) vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) aus der EURO-CORDEX Datenbank verwendet werden. Untersucht wurde das „weiter wie bisher“ Szenario RCP8.5 (repräsentativer Konzentrationspfad mit einem erhöhten Strahlungsantrieb von 8,5 W/m<sup>2</sup> im Jahr 2100 verglichen mit dem Jahr 1850) mit insgesamt 14 Klimamodellen. Folgende Ergebnisse aus Klima-Ensemble-Berechnungen aus GCM (Global Climate Models) und RCM (Regional Climate Models) wurden hierbei verwendet:

*Tabelle 2: Überblick über die verwendeten global-regional Klimamodelle (RCP.8.5)*

<b>GCM</b>	<b>RCM</b>	<b>Name</b>	<b>Emissions-szenario</b>	<b>Zeitraum</b>
<b>ECHAM5</b>	WETTREG2010	WETTREG	SRES A1B	1971-2100
<b>ECHAM5</b>	REMO	REMO	SRES A1B	1971-2100
<b>CNRM-CM5</b>	CCLM-4-8-17	CNRM_CCLM	RCP8.5	1970-2100
<b>CNRM-CM5</b>	RCA4	CNRM_RCA4	RCP8.5	1970-2100
<b>EC-EARTH</b>	CCLM-4-8-17	ECE_CCLM	RCP8.5	1970-2100
<b>EC-EARTH</b>	HIRHAM5	ECE_HIRHAM5	RCP8.5	1951-2100
<b>EC-EARTH</b>	RACMO22E	ECE_RACMO22E	RCP8.5	1951-2100
<b>EC-EARTH</b>	RCA4	ECE_RCA4	RCP8.5	1970-2100
<b>MPI-ESM-LR</b>	CCLM4-8-17	MPI_CCLM	RCP8.5	1951-2100
<b>MPI-ESM-LR</b>	RCA4	MPI_RCA4	RCP8.5	1970-2100
<b>MPI-ESM-LR</b>	REMO (1)*	MPI_REMO1	RCP8.5	1951-2100
<b>MPI-ESM-LR</b>	REMO (2)*	MPI_REMO2	RCP8.5	1951-2100
<b>HadGEM2-ES</b>	RACMO22E	Had-GEM2_RACMO22E	RCP8.5	1970-2099
<b>HadGEM2-ES</b>	RCA4	HadGEM2_RCA4	RCP8.5	1970-2099
<b>IPSL-CM5A-MR</b>	RCA4	IPSL_RCA4	RCP8.5	1970-2100
<b>IPSL-CM5A-MR</b>	CCLM-4-8-17	IPSL_CCLM	RCP8.5	1971-2100

\* Verschiedene REMO Läufe

### **3.2. Methoden zur inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit**

Die Modellierung von natürlichen Prozessen erfordert – wie das vorherige Kapitel 3.1 zeigt – die Nutzung von Geodaten aus unterschiedlichen Quellen und deren Integration in der entsprechenden Software. Geoinformationssysteme eignen sich für die Integration besonders gut. Sie liefern kartographischen bzw. visuellen Output, der gerade in Multi-Actor-Projekten als Diskussions- und Entscheidungsgrundlage effektive Unterstützung leisten kann. Hier ist jedoch ein wichtiger Aspekt zu berücksichtigen, der auf die Heterogenität der Beteiligten, deren verschiedene Erfahrungs- und Wissensbasis abzielt. Wenn Akteur\*innen aus verschiedenen Organisationen sowie unterschiedlichen Sektoren zusammenarbeiten, um gemeinsam Entscheidungen über Klimaanpassungsmaßnahmen zu treffen, ist es notwendig, die Diskussions- und Entscheidungsbasis auf eine für alle Akteur\*innen nachvollziehbare Weise zu gestalten [PUNDT, 2017, 2020]. Die Kommunikation der Daten und der Analyseergebnisse muss transparent und begründet erfolgen. Eine solche Kommunikation erfordert Projektstrukturen, die alle Akteur\*innen gleichermaßen berücksichtigt und damit gewährleistet, dass Entscheidungen getroffen werden, die möglichst alle relevanten Fach- und Wissensgebiete sowie die Interessen aller Akteur\*innen angemessen berücksichtigt. Hier bieten sich verschiedene Ansätze der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit an, die in den Projekten Klimpass und BeBeR auf verschiedene Weise Anwendung gefunden haben.

#### **3.2.1. Inter- und Transdisziplinarität in Projekten zur Klimaanpassung**

Um konkrete Maßnahmen zur Klimaanpassung zu entwickeln, ist eine enge Kooperation von Wissenschaft und Praxis unumgänglich. Bei der Entwicklung, aber vor allem bei der Umsetzung von Maßnahmen, ergibt sich ein Forschungs- und Entwicklungsbedarf, denn Lösungsansätze in verschiedenen Sektoren sind eng miteinander verbunden und können sich gegenseitig beeinflussen. Die aktuelle Strategie des Landes Sachsen-Anhalt [LSA, 2018] erfasst beispielsweise verschiedene Konflikte, die sich aus Lösungsstrategien ergeben können. Praktikable Lösungen können sich nur durch das Zusammenwirken von Akteur\*innen aus Wissenschaft und Praxis sowie aus unterschiedlichen Wissensbereichen bis hin zu Bürger\*innen ergeben. Es resultieren neue Anforderungen an die Wissenschaft, die sich im Begriff der „Mode-2-Wissenschaft“ widerspiegeln, welche etwa seit Beginn der 90er Jahre eine kontextabhängige,







die einen positiven Beitrag bei der Bewältigung zukünftiger Probleme leisten kann (Wissensplattform oder Wissenseinheit)“.

Transdisziplinäre Forschung nach Cronin beinhaltet die interdisziplinäre Arbeit an einer lebensweltlichen Problemstellung und die Einbindung der Stakeholder\*innen. Zusätzlich beschreibt [SCHULTE, 2018] die Möglichkeit, dass aus der transdisziplinären Arbeitsweise eine neue Wissensplattform entsteht (siehe Abbildung 9).

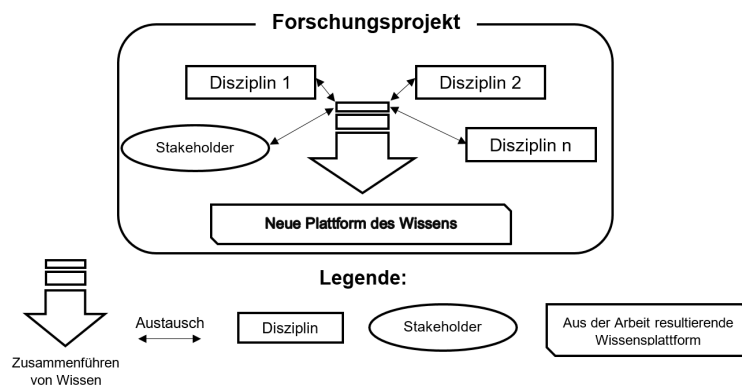


Abbildung 9: Transdisziplinäre Forschung [SCHULTE, 2018 nach (CRONIN, 2008)]

Interdisziplinäre und transdisziplinäre Forschung ergänzen einander. Bezogen auf die Anforderungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels bedürfen beispielsweise Forschungen zur Klimamodellierung interdisziplinärer Zusammenarbeit, die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen jedoch transdisziplinärer Forschung und Entwicklung. Inter- und transdisziplinäre Forschung und der Living Lab-Ansatz (Bem.: Der Living Lab-Ansatz umfasst nach einem allgemeinen Verständnis eine nutzungsgerechte, realweltliche Forschungsumgebung, in der nicht nur Wissenschaft, Wirtschaft und Organisationen gemeinsam Forschung und Entwicklung betreiben, sondern vor allem Nutzer\*innen selbst eine aktive Rolle innerhalb der Innovationsprozesse übernehmen.) zeigen zahlreiche Berührungspunkte, wie sich nachfolgend zeigen wird. Die Durchführung transdisziplinärer Forschung und Entwicklung kann dabei mit weiteren Ansätzen ergänzt werden, die wiederum nah an der Living-Lab Idee zu sehen sind, und unter den Schlagworten „Citizen Science“ und „Third Mission“ fungieren.

Der Begriff der „Third Mission“ beschreibt die Vernetzung von Hochschulen und Universitäten mit Praxispartnern. Darunter versteht man diejenigen Tätigkeiten einer Hochschule oder Universität, welche die nachfolgenden Bedingungen a) bis c) erfüllen:

- a) sie stehen im Zusammenhang mit den Kernprozessen Forschung und Lehre oder den strategischen Zielen der Hochschule.
- b) sie machen Gebrauch von den Ressourcen der Hochschule.
- c) sie gestalten die nichtakademische Umwelt aktiv mit.

Dabei bedeutet die Bedingung c), dass eine Zusammenarbeit mit Personen erfolgt, die nicht Angehörige der Hochschulen oder Forschungseinrichtungen sind. Während sich Living Labs und Citizen Science auf Forschung und Entwicklung fokussieren, erweitert sich das Gebiet der Third Mission auch auf die Durchführung von Schulungsaufgaben, die Aufbereitung und Bereitstellung von Informationen und Beratungsaufgaben. Bezüglich des Themas Klimaanpassung kann beispielsweise die Erstellung von Bildungsmodulen genannt werden (vgl. [Tatenbank 2019], hier z.B. „WASKA - Erstellung eines Bildungsmoduls über die Anpassung der Wasserversorgung an den Klimawandel“).

Hinter dem Begriff der Citizen Science verbirgt sich eine Partizipationsform, bei der sich Personen, die nicht hauptberuflich in der Wissenschaft tätig sind, an wissenschaftlichen Prozessen beteiligen. Die European Citizen Science Association nennt diese Forschungsmethode einen flexiblen Ansatz, der an verschiedene Gegebenheiten und Disziplinen angepasst werden kann, jedoch zehn grundsätzliche Prinzipien berücksichtigen sollte (siehe hierzu [ECSA, 2015]).

Rückert-John et al. (2017), unterteilen Citizen Science-Projekte in Abhängigkeit von der Art der Partizipation und der Einordnung im Forschungsprozess, wie Tab. 3 zeigt.

Tabelle 3: Citizen Science-Ansätze (nach [Rückert-John et al., 2017] und [HENNING et al., 2017])

Citizen Science-Ansatz	Interpretation
Co-design	Die Bürger*innen werden von Beginn an in den Forschungsprozess einbezogen. Es erfolgt eine gemeinsame Projektplanung und Durchführung, welche häufig mit geteilten Verantwortlichkeiten einhergeht.
Co-Produktion	Die Bürger*innen arbeiten unter Anleitung der Wissenschaftler*innen im Forschungsprozess mit (z.B. Probenahme, Datenerfassung und -auswertung, oft in Bio-, Geo- und Umweltwissenschaften).
Virtuelle Beteiligung	Daten werden beispielsweise über Crowdsourcing und „Sensorträger“ generiert (GPS, Smartphone, Kamera u.v.a.). Die Bürger*innen übernehmen neben der Erfassung häufig auch die Auswertung digitaler Daten. Als vorteilhaft erweist sich die Erweiterung der räumlichen und zeitlichen Ressourcen im Vergleich zu den Möglichkeiten einer einzelnen Wissenschaftseinrichtung.
Bildungsprojekte mit Anteil originärer Forschung	Es besteht eine enge Verbindung von Lernen und Wissenschaft. Dabei sind nicht nur die wissenschaftlichen Ergebnisse ein Ziel, sondern auch die Bewusstseinsbildung, die Veränderung des Verhaltens sowie die gewonnenen Erkenntnisse.

Autonome Forschung	Dies umfasst alle Aktivitäten von Individuen oder Interessengruppen, die generell ohne institutionelle Anbindung eigenständig forschen. Die Abwicklung des Forschungsprojektes erfolgt dabei völlig ohne die Einbindung wissenschaftlicher Einrichtungen in den Forschungsprozess. Eine Unterstützung kann gegeben sein, zum Beispiel durch die Bereitstellung von Ressourcen wie Laboren.
E-Partizipation	Die Teilhabe von natürlichen und juristischen Personen und ihren Gruppierungen an der Entscheidungsfindung mit Mitteln der Informations- und Kommunikationstechnik. Auf diese Weise können Bürger*innen schnell und unbürokratisch in Entscheidungsprozesse eingebunden werden.

Goodchild hat als einer der ersten darauf hingewiesen, dass neue digitale Technologien beispielsweise zur Datenerfassung eingesetzt werden können, indem sie einfach von Bürger\*innen (mit-)genommen werden [GOODCHILD, 2007]. Dies können vielerlei Sensoren sein, das Smartphone oder ubiquitäre Technologien.

### **3.2.2. Die Living-Lab-Idee als Kooperationsansatz im Projekt Beber**

#### **Living Labs**

Living Labs werden im Allgemeinen als eine Infrastruktur verstanden, die eine nutzerzentrierte Forschungsmethodik ermöglicht. Der Living Lab-Ansatz umfasst eine realweltliche Umgebung, in der Wissenschaft, Wirtschaft, öffentliche und private Organisationen gemeinsam Forschung und Entwicklung betreiben. Die Nutzer\*innen übernehmen eine aktive Rolle innerhalb der Innovationsprozesse. Living Labs nähern sich – auch unter Nutzung der oben erwähnten Inter- und Transdisziplinarität - an komplexe Frage- und Problemstellungen an, mit dem Ziel, Lebensräume so zu gestalten, dass sie für die Herausforderungen des Klimawandels gewappnet sind. Parallel dazu sollen sie sich attraktiv und wettbewerbsfähig entwickeln. Bereits 2005 wurden im Rahmen eines Pilotprojektes der Europäischen Kommission („European Network of Living Labs“ (ENoLL)) Anforderungen und Kernaufgaben entwickelt [ENOLL, 2005]. Im Rahmen dieses Netzwerkes wurde ein Methodenhandbuch entwickelt, welches auf fünf Kernelementen basiert (vgl. [MALMBERG, 2017]):

Tabelle 4: Methodische Living-Lab Ansätze

Methodischer Ansatz	Interpretation
Multimethod approach	Es sollen verschiedene Methoden angewendet werden, die jeweils optimal auf die jeweilige Fragestellung angepasst sind.
User engagement	Von Beginn an sollen die Nutzer*innen aktiv beteiligt werden.
Multi-Stakeholder*innen participation	Eine breite Beteiligung der Stakeholder*innen ist unabdingbar: Vertreter*innen des privaten und öffentlichen Sektors sollen ebenso beteiligt werden wie Wissenschaftler*innen und Bürger*innen.
Real-life setting	Durchführung in realweltlicher Umgebung: die Akteur*innen wirken unter den Bedingungen ihrer täglichen Arbeitsumgebung, in der sie Probleme bearbeiten und sektor-spezifische Problemlösungen entwickeln, mit. Im Living-Lab werden die verschiedenen Ansätze anhand konkreter Fragestellungen gemeinsam diskutiert und Konsenslösungen gefunden.
Co-creation	Nutzer*innen sind nicht Gegenstand der Untersuchungen, sondern gleichberechtigte Beteiligte während des gesamten Projektes.

Die in Tabelle 4 genannten Kernelemente entsprechen auch den Anforderungen an Projekte zur kommunalen Anpassung an die Folgen des Klimawandels, die, wie eingangs dargestellt, ebenfalls eine Kombination unterschiedlicher methodischer Ansätze unter Einbeziehung der Nutzer\*innen und Stakeholder\*innen in verschiedenen Rollen erfordern.

In einem weiteren Projekt („Living Labs in der Green Economy: Realweltliche Innovationsräume für Nutzerintegration und Nachhaltigkeit“) erfolgte 2015 eine Symbiose aus verschiedenen Definitionen. Dabei spielt der Begriff der „Nachhaltigkeit“ eine bedeutende Rolle:

„Living Labs der Green Economy sind reale und realweltliche Forschungs- und Entwicklungsinfrastrukturen, in denen Nutzer und Produzenten gemeinsam sozio-technische und nachhaltige Innovationen entwickeln. Der Innovationsprozess öffnet sich an zentralen Stellen, so dass neben den Entwicklern und Produzenten auch die Nutzer, weitere relevante Akteure der Wertschöpfungskette und das Nutzungsumfeld einbezogen werden. Ziel ist es, zu global und langfristig verallgemeinerbaren, inter- und intragenerationell tragfähigen Produktions- und Konsummustern im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung beizutragen.“

In diesem Sachzusammenhang wurden vier Aktivitäten benannt, die den, aus dem Living Lab entstehenden, Innovationsprozess inhaltlich ausfüllen:

- Exploration: Die Untersuchung von innovativen Nutzungsformen, Kontexten und Markt-Chancen.
- Interaktive Entwicklung: Prozesse und Innovationen werden zwischen Nutzer\*innen und Produzent\*innen sowie möglichen weiteren Akteur\*innen der Wertschöpfungskette, inklusive KMU, abgestimmt.
- Experimentieren: Anwendungsszenarien werden im realweltlichen Umfeld mit Nutzer\*innen und Akteur\*innen der Wertschöpfungskette ausprobiert, kritisch geprüft und bewertet.
- Evaluation: Kriterien-gestützte Bewertung und Anpassung von Konzepten, Produkten und Services im Hinblick auf Nachhaltigkeit auf der Grundlage gemeinsam entwickelter Kriterien und unter Berücksichtigung von Rebound-Effekten und Obsoleszenz.

Mittlerweile existieren diverse Beispiele für Living Labs, auch in den Bereichen Klimaschutz und nachhaltige Mobilität. Sie sind auf einer Living-Lab-Landkarte zusammengefasst [LIVLAB, 2019]. Ausgewählte Beispiele zur Klimaanpassung sind in der „Tatenbank“ enthalten [TATENBANK, 2019].

### **Living Labs und kommunale Klimaanpassungsprojekte**

Klimaanpassung auf kommunaler Ebene ist ohne die Einbindung relevanter regionaler und lokaler Akteur\*innen nicht denkbar. Klimaanpassungsprojekte erfordern die Berücksichtigung von Daten und Informationen, die bei den datenerfassenden Stellen (Behörden, Verbände, Organisationen, ggf. Bürger\*innen) eingeholt, zusammengeführt und analysiert werden müssen. Die Analyse sollte dabei nicht ausschließlich auf wissenschaftlich-technischer Ebene durchgeführt werden. Hier können zwar methodische Ansätze für Analysen vorgeschlagen werden, diese müssen jedoch mit den Akteur\*innen diskutiert und auf ihre Eignung hin kritisch geprüft werden. Hierzu sind Workshops der Beteiligten durchzuführen, bei der die Anwesenheit der entsprechenden Akteur\*innen zu gewährleisten ist, da sich in der Praxis oft herausstellt, dass Analyseansätze zwar rational überlegt und methodisch durchdacht sind, dennoch aber realweltliche Aspekte eine Rolle spielen können, die eine Änderung der Ansätze erfordern. Die Bedeutung von Citizen Science und Third Mission wird hier erneut deutlich

ebenso wie die inter- und transdisziplinäre Kooperation, die insbesondere eine funktionierende Kommunikation aller Projektbeteiligten erfordern. Die Kommunikation sollte dabei auf analogen (projektbezogene Meetings, Workshops u.a.) und digitalen Methoden beruhen (projektbezogene Foren, Chatrooms, Social Media, Videokonferenzen u.a.). Von der gemeinsam erarbeiteten Konzeption und Durchführung von Analyse- (und Bewertungs-) Methoden hängt die Qualität der Ergebnisse ab. Das Living-Lab soll von Beginn an und bis zum Projektende gewährleisten, dass alle Aspekte und Perspektiven in die Diskussion gebracht werden, die bei sektor-spezifischer, möglicherweise auch ausschließlich wissenschaftlicher Betrachtungsweise keine oder zu wenig Berücksichtigung gefunden hätten. Der Living-Lab-Ansatz ist zwar komplexer und von der Durchführung her wesentlich aufwändiger als „monosektorale“ Ansätze, das Ziel der Qualitätssteigerung der Ergebnisse, Entscheidungen und Maßnahmen stellen ihn jedoch als sinnvoll und gewinnbringend dar [PUNDT & HEILMANN, 2020].

Ein zentraler Aspekt bei kommunalen Klimaanpassungsprojekten ist die Nutzung aller relevanten Daten, die oft, aber nicht ausschließlich, von Behörden erfasst und verwaltet werden. Dementsprechend gehören in Projekte, die nach dem Living-Lab-Ansatz verfahren, Vertreter\*innen aller Ämter auf Landes-, regionaler- und lokaler Ebene, die mit den zu bearbeitenden Problemen befasst sind. Darüber hinaus sind weitere Akteur\*innen einzubinden, z.B. Naturschutz- und Bauernverbände, Forst- und wasserwirtschaftliche Verbände, Umweltorganisationen, Vereine, Firmen sowie Bürger\*innen, die spezifisches lokales Wissen einbringen können. Die Akteur\*innen sollen neben der Bereitstellung von (Geo-)Daten ihre spezifische Expertise zur Verfügung stellen. Sie sollen ihre Ziele und Interessen erklären und ihre Meinungen bezüglich der anzuwendenden Methoden und der Maßnahmen zur Klimaanpassung äußern. Bei der Entscheidung über Maßnahmen sollen alle Akteur\*innen dazu beitragen, die zukünftig zu erwartenden Konsequenzen, Pros und Kontra kritisch zu würdigen (Szenarienbewertung, s. z.B. [Serrao-Neumann und Choy, 2018]: „Scenario planning is a participatory engagement method that contributes to knowledge co-production and learning, ownership of problems and solutions, and dealing with power imbalances“ [SERRAO-NEUMANN & CHOY, 2018, S. 83].

## Integration von Living-Lab-Komponenten

Im BebeR-Projekt wurden alle Akteur\*innen, die zu beteiligen sind, in ein Boot geholt, um darauf aufbauend Maßnahmenentwicklung zu ermöglichen. Kommunale Ämter, Forst- und Landwirtschaftsverbände, Naturschutz- und andere Organisationen wurden in Workshops zusammengeführt, um alle relevanten Informationen zusammenzuführen und darauf aufbauend Datenanalysen durchzuführen mit dem Ziel, Lösungsvorschläge für die jeweiligen Probleme zu erarbeiten (s. vorherige Abschnitte). Diese wurden anschließend mit allen Beteiligten in Workshops und über ein Online-Forum kritisch hinterfragt. Im BebeR-Projekt sind dabei verschiedene Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen und diskutiert worden. Schließlich wurden, unter Abwägung verschiedener Kriterien, Lösungen priorisiert. Hierzu wurde ein bewährter Ansatz zur multikriteriellen Evaluierung angewendet, der im folgenden Kapitel erläutert wird. Die im BebeR-Projekt durchgeführten Schritte bis zur Maßnahmenevaluierung zeigt Abbildung 10.

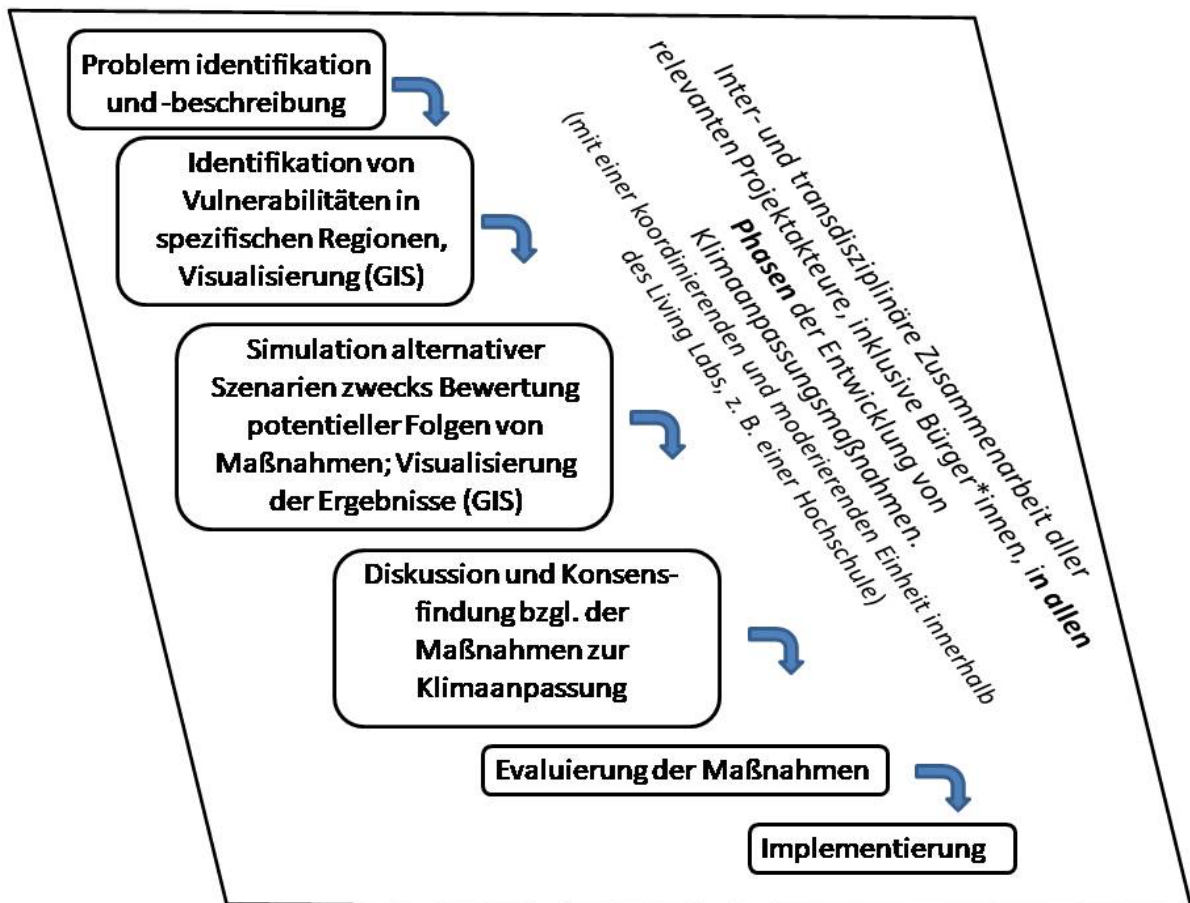


Abbildung 10: Entscheidungsfindungsprozess unter Einbeziehung aller Akteur\*innen im BebeR-Projekt ([PUNDT & HEILMANN, 2020], verändert)

### **3.3. Grundlagen der multikriteriellen Bewertung**

Zur Steigerung der Akzeptanz von Klimaanpassungsmaßnahmen, in diesem Fall zur Minderung von Erosions- bzw. Schadensereignissen, sollten transparente Entscheidungsunterstützungsverfahren eingesetzt werden. Diese Verfahren sollen insbesondere bei der Quantifizierung möglicher Einzelmaßnahmen oder Kombinationen von mehreren zum Teil aufeinander abgestimmten Maßnahmen helfen. Sie dienen somit der Einschätzung jeweiliger Vor- und Nachteile verschiedener Maßnahmenvarianten.

Verallgemeinert bedeutet dies, dass bei Vorliegen alternativer Klimaanpassungsmaßnahmen eine geeignete Bewertungsmethode erforderlich ist, welche zuvor festzulegende Ziele berücksichtigt. Weiterhin sollte die Methode in der Lage sein, unterschiedliche Maßnahmen vergleichbar zu machen sowie die Einflüsse verschiedener Arbeitsbereiche und unterschiedlicher Entscheidungsträger zur berücksichtigen.

Ein Vergleich verschiedener Entscheidungsverfahren zur Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen [KNOOP, 2014] ergab, dass sich multikriterielle Verfahren für komplexe Entscheidungsprozesse – wie der Fragestellung, welche konkrete Klimaanpassungsmaßnahme durchgeführt werden soll – sehr gut eignen.

Im Bereich der multikriteriellen Verfahren gibt es nach [GELDERMANN & LERCHE, 2014, S. 11] zwei Ansätze: (1) klassische Ansätze (Nutzwertanalyse und AHP-Analytical Hierarchy Process) und (2) Outranking Ansätze (PROMETHEE). Letztere Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass sie nicht die optimale, sondern eine akzeptable und für alle Beteiligten befriedigende Lösung des Entscheidungsproblems herbeiführen sollen [HARTH, 2006, S. 59]. Die in den 80er Jahren von Brans entwickelte PROMETHEE Methode (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation) gehört hierbei zu den Outranking-Verfahren und basiert auf Paarvergleichen verschiedener Alternativen [GELDERMANN & LERCHE, 2014, S. 53]. Das Verfahren erfolgt unter der Annahme, dass die Präferenzen der Entscheidungsträger\*innen mit Unsicherheiten behaftet sind. Daher liegt der Fokus der Methode darauf, einen möglichst transparenten Entscheidungsprozess zu generieren, sodass sich die Person mit Entscheidungsbefugnis mit dem Problem auseinandersetzt und dadurch Präferenzen besser durchdenken kann. Im Ergebnis erhält man eine Rangfolge. Mithilfe dieser Rangfolge sowie in Verbindung mit den gewonnenen Erkenntnissen des Prozesses kann eine Entscheidung herbeigeführt werden [GELDERMANN & LERCHE, 2014, S.



12-13]. Des Weiteren ermöglicht die PROMETHEE-Methode einen Vergleich unterschiedlichster Maßnahmen, die Nutzung von unterschiedlich skalierten Bewertungskriterien und die Einbeziehung mehrerer Entscheidungsträger\*innen. Eine im Ergebnis entstandene Rangfolge kann durch eine Sensitivitätsanalyse auf ihre Stabilität hin geprüft werden.

Ein vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) in Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) veröffentlichter „Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung“ im Rahmen der Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen [BMVBS, 2013] enthält einen 5-stufigen Bewertungsprozess (siehe Abbildung 11), welcher auch im Kontext dieser Ausarbeitung als Grundlage genutzt wurde.

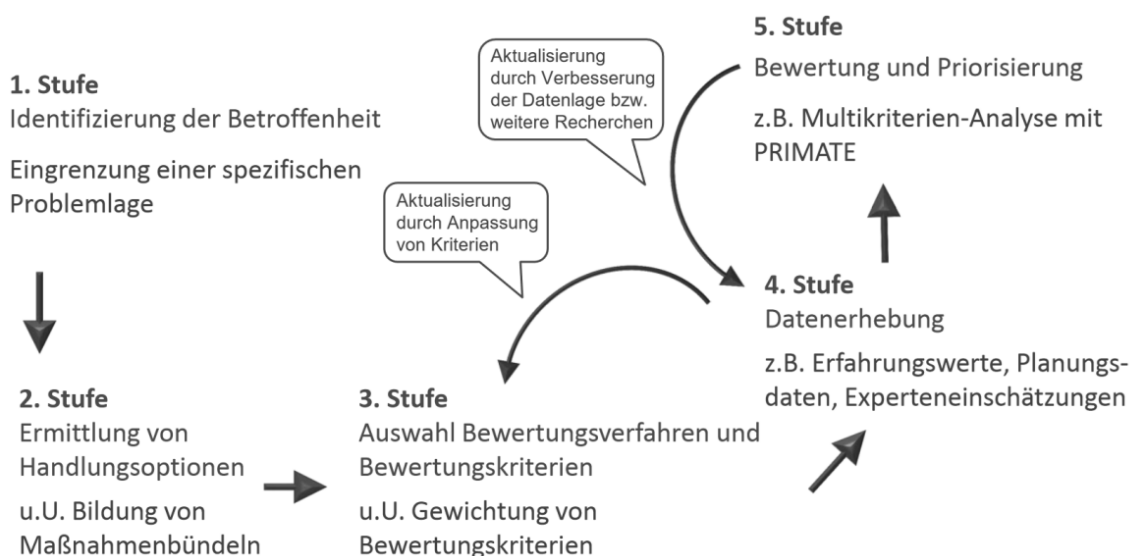


Abbildung 11: Darstellung des 5-Stufigen Bewertungs- und Priorisierungsprozesses der Anpassungsmaßnahmen, Quelle: [BMVBS, 2013, S.9]

Je nach Komplexität eines Entscheidungsprozesses bietet sich die Nutzung einer Software zur Verwaltung oder Analyse an. Martin Drechsler vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) entwickelte eine Software zur Entscheidungsunterstützung nach der PROMETHEE Methode namens PRIMATE. Beachten sollte man unterdessen, dass es sich bei PRIMATE um kein kommerzielles Produkt handelt, das systematischen Tests unterzogen wurde [Drechsler (o.J.)]. Dennoch findet es bereits seit Jahren als Entscheidungshilfe im Verwaltungshandeln Anwendung. Durch Einsatz in vorhergehenden Untersuchungen wurde die Software bereits ausführlich getestet und findet auch in dieser Untersuchung Einsatz. Die multikriterielle Bewertung basiert auf den mittels GIS und Simulationsmodell erarbeiteten Resultaten. Letztere werden nachfolgend dargelegt und daraufhin die Bewertungsergebnisse beschrieben.

## 4. Ergebnisse des Projektes BebeR

### 4.1. Simulationsergebnisse zur Erosivität

Im Folgenden werden am Beispiel der Planungsregionen Regenbeek und Vietzbach die Bewertungen der Simulationsergebnisse der Erosionsmodelle aufgezeigt. Das Gewässereinzugsgebiet des Vietzbaches ist eine von flächenhafter Bodenerosion geprägte Region, deren Erosivität von den im Gebiet auftretenden Niederschlägen bestimmt wird. Untersucht wurden hierbei Frühjahrsniederschläge (April bis Juni) und Sommerniederschläge (Juli bis September) mit hohen Intensitäten. Die Ergebnisse der ero-SMINF-Berechnungen sind in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse von ero-SMINF für das Beispielgebiet Vietzbach: Untersuchung der Erosivität von Frühjahrsniederschlägen (April-Juni) von 2007 bis 2018

ero-SMINF (Frühjahr)						
Jahr	Monat	Dauer [min]	Niederschlag Summe [mm]	Max. Intensität [mm/h]	Oberflächenabfluss [mm]	Bewertung der Erosivität
2007	Jun	100	10,2	49,6	2,8	unwahrscheinlich
2008	Mai	40	9,1	37,6	1,7	unwahrscheinlich
2009	Mai	340	17,21	81,6	5,4	Verschlämmung
2010	Jun	30	27,0	148,3	11,1	<u>wahrscheinlich</u>
2011	Jun	30	8,1	36,7	1,3	unwahrscheinlich
2012	Jun	130	12,1	39,0	2,4	unwahrscheinlich
2013	Jun	140	18,7	60,7	9,9	Verschlämmung
2014	Jun	10	3,8	22,6	0,1	unwahrscheinlich
2015	Mai	180	6,5	33,1	1,0	unwahrscheinlich
2016	Jun	30	15,8	84,5	9,6	<u>wahrscheinlich</u>
2017	Jun	110	23,6	72,7	13,4	<u>wahrscheinlich</u>
2018	Apr	80	4,6	12,1	-	-

Wie in Tabelle 5 zu erkennen ist, sind Frühjahrsniederschläge mit hohen Intensitäten vor allem im Juni zu beobachten. Die maximale Intensität liegt hier bei 148 mm/h im Juni 2010. 92% der untersuchten Niederschläge führen zu Oberflächenabfluss, wobei minimal 0,1 mm und maximal 13,4 mm Oberflächenabfluss auftreten. Von diesen abflusserzeugenden Ereignissen führen 45% zu Erosion oder zu Verschlämmung, welche die Gefahr für Erosion deutlich erhöht. Im Allgemeinen kann eine hohe Korrelation zwischen einem hohen Oberflächenabfluss und der Wahrscheinlichkeit einer Erosion festgestellt werden. Große Oberflächenabflüsse treten wiederum dort auf, wo hohe Niederschlagsmengen innerhalb kleiner Zeitintervalle auftreten.

Tabelle 6: Ergebnisse von ero-SMINF für das Beispielgebiet Vietzbach: Untersuchung der Erosivität von Sommerniederschlägen (Juli-September) von 2007 bis 2018

ero-SMINF (Sommer)						
Jahr	Monat	Dauer [min]	Niederschlag Summe [mm]	Max. Intensität [mm/h]	Oberflächenabfluss [mm]	Bewertung der Erosivität
2007	Jul	520	51.4	35.6	23.6	Verschlämmung
2008	Jul	20	4.8	27.4	0.5	unwahrscheinlich
2009	Aug	50	26.0	68.9	18.5	<u>wahrscheinlich</u>
2010	Jul	300	31.2	45.7	11.1	Verschlämmung
2011	Aug	140	38.6	91.8	24.5	<u>wahrscheinlich</u>
2012	Aug	60	14.1	48.7	4.2	unwahrscheinlich
2013	Aug	80	22.0	45.5	12.8	Verschlämmung
2014	Jul	80	24.0	39.7	13.5	Verschlämmung
2015	Aug	150	93.2	131.8	76.8	<u>wahrscheinlich</u>
2016	Sep	330	18.6	14.3	2.3	unwahrscheinlich
2017	Jul	20	6.6	36.6	1.3	unwahrscheinlich
2018	Jul	300	43.6	80.5	30.7	<u>wahrscheinlich</u>

Die Auswertung der Sommermonate (Tabelle 6) zeigt, dass Niederschläge mit einer hohen Intensität hauptsächlich im Juli und August auftreten. Dabei werden Intensitäten von bis zu 130 mm/h beobachtet. Alle untersuchten Ereignisse im Sommer führen zu Oberflächenabfluss, wovon wiederum für 67% eine Erosion als wahrscheinlich angesehen wird. Untersuchungen der Herbst- und Winterniederschläge ergaben ein weniger eindeutiges Bild. In nur jeweils zwei der untersuchten Niederschlagsereignisse und Jahre entstand Oberflächenabfluss, wovon kein Ereignis zu einem Bodenabtrag führte. Eine Erosion von Oktober bis März kann daher als sehr unwahrscheinlich angesehen werden.

Abbildung 12 zeigt die potenzielle Erosionsgefährdung im Einzugsgebiet des Vietzbaches. Zu erkennen sind neben grünen Flächen (keine Erosion), welche hauptsächlich Waldflächen darstellen, vor allem gelbe Flächen mit einer Erosion von 1 bis 3 t/(ha\*a). Die Erosionsgefährdung ist damit über das gesamte Gebiet betrachtet gering bis mittel, im Durchschnitt liegt der mittlere jährliche Bodenabtrag bei 1,86 t/(ha\*a). Jedoch treten auch hohe Erosivitäten (orange bis rot) mit bis zu 35 t/(ha\*a) auf, insbesondere im mittleren Gebiet nahe des Vietzbaches (siehe Detailansicht Abbildung 12).

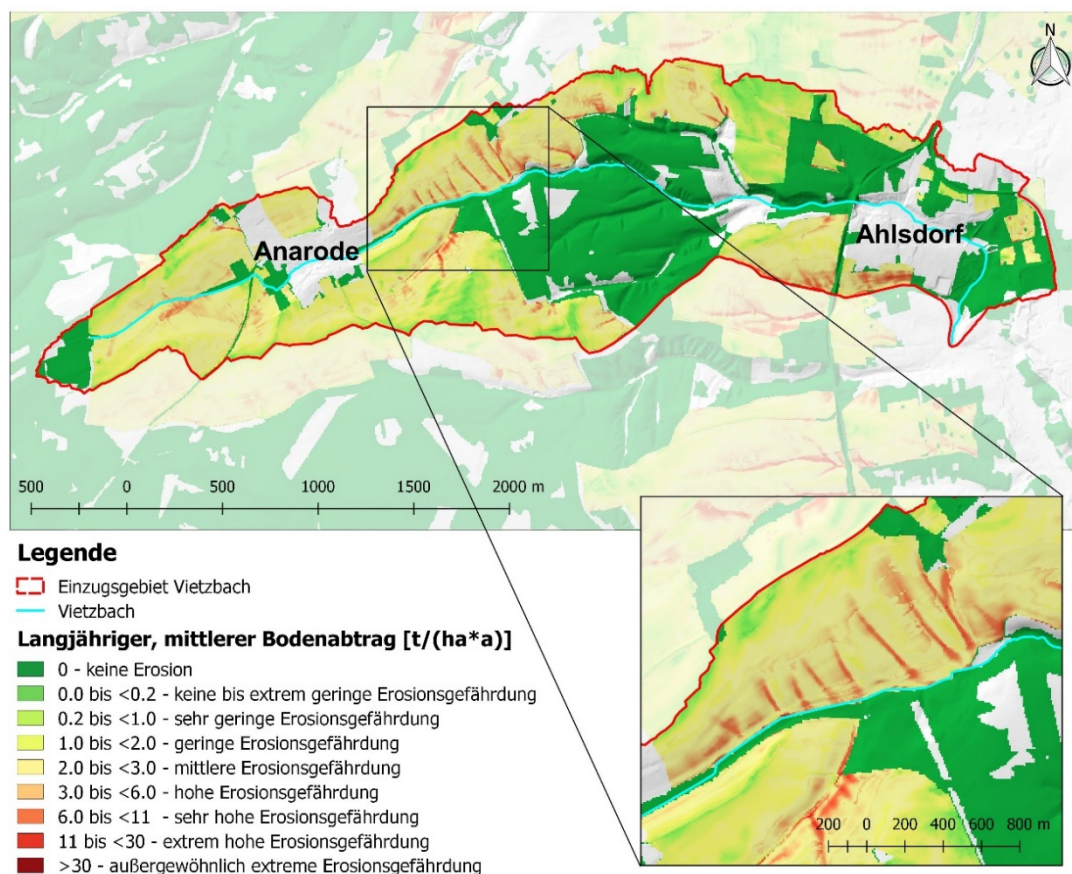


Abbildung 12: Potentielle Erosivität im Planungsgebiet des Vietzbaches (Ergebnis des ABAGis) (a) mit Detailansicht (b)

Besonders auffällig sind die linienhaft ausgeprägten Erosionspfade, welche direkt an der Stelle am Vietzbach abschließen, wo die Uferrutschungen zu beobachten sind. Die Pfade werden durch eine Vertiefung im Gelände begünstigt, welche wiederum durch eine linienhafte Erosion entstanden sind. Dies verdeutlicht noch einmal die Lokalität von Erosionsereignissen, welche so nur mit einem räumlichen Erosionsmodell, wie dem ABAGis untersucht werden können.

Das Untersuchungsgebiet Regenbeek ist durch eine ausgeprägte Erosion am Bachbett und von Uferrutschungen geprägt. Mithilfe des BEM wird am problembehafteten Bereich des Regenbeeks die Grenzfließgeschwindigkeit ermittelt, ab der eine Erosion wahrscheinlich ist (kritische Fließgeschwindigkeit –  $v_{krit}$ ). Diese Fließgeschwindigkeit wird bei den folgenden Abflüssen ( $Q_{krit}$ ) bzw. Wasserständen ( $h_{krit}$ ) erreicht:

Tabelle 7: Eingabe und Ergebnisse der Berechnung mit dem Bachbetterserosionsmodell: Kritische Werte

Beschreibung	Rauigkeit $k_{st}$ [ $m^{1/3}/s$ ]	Gefälle $I_s$ [%]	Breite $b$ [m]	Neigung 1:n [-]	$v_{krit}$ [m/s]	$h_{krit}$ [m]	$Q_{krit}$ [ $m^3/s$ ]
Bereich mit Uferabbrüchen	33	1,69%	0,8	2	<u>1,12</u>	<u>0,19</u>	<u>0,24</u>

Die Berechnung mit dem BEM zeigt, dass am Bereich mit den Uferabbrüchen eine Fließgeschwindigkeit von mehr als 1,12 m/s notwendig ist, um das Sediment im Gerinne zu bewegen. Dies entspricht einem Abfluss von 0,24 m<sup>3</sup>/s bzw. einem Wasserstand von 0,19 m. Um eine Aussage über Erosivität treffen zu können, wird sie mit den im Regenbeek auftretenden Fließgeschwindigkeiten bzw. Abflüssen verglichen. Auf Grundlage von Wasserstandsmessungen im Fließgewässer wurde ein Normalabfluss von 0,02 m<sup>3</sup>/s ermittelt (bei Trockenwetter). Dieser ist für eine Erosion nicht ausreichend. Nach Aussagen von Ortsansässigen sind jedoch vor allem Starkregenereignisse maßgeblich für die Erosionserscheinungen. Es wird daher rechnerisch der Abfluss ermittelt, der nach einem 15-minütigen Regen (welcher statistisch zwei Mal im Jahr auftritt) im oberhalb liegenden Klostermansfeld entsteht. Der Spitzenabfluss, welcher durch das Regenwasserkanalsystem direkt in den Regenbeek geleitet wird, beträgt 3,68 m<sup>3</sup>/s. Hinzu kommt i.d.R. ein Abfluss aus dem Gebiet von wenigen l/s, der jedoch als vernachlässigbar eingestuft wird. Ein Vergleich mit den kritischen Werten zeigt, dass der ermittelte Abfluss nach einem Starkregenereignis deutlich größer, ca. 15-mal höher, ist als der kritische Abfluss (0,24 m<sup>3</sup>/s). Auch die dadurch erzeugte Fließgeschwindigkeit 2,47 m/s ist mehr als doppelt so hoch wie der kritische Wert (1,12 m/s). Diese deutliche Überschreitung weist auf eine hohe Erosionsgefährdung im untersuchten Bereich hin.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen am Vietzbach und Regenbeek, dass die erstellten Erosionswerkzeuge in der Lage sind, die Vulnerabilität in Bezug auf die flächenhafte und bachbettbezogene Erosion darzustellen. Die Ergebnisse von ero-SMINF für das Untersuchungsgebiet des Vietzbaches verdeutlichen, dass, bedingt durch den undurchlässigen Boden und das hohe Gefälle, das Auftreten von Oberflächenabfluss und Erosion sehr wahrscheinlich sind. Besonders hoch ist die Wahrscheinlichkeit von flächenhafter Bodenerosion im Frühjahr und Sommer. Da ero-SMINF jedoch keine Retentions- oder Stabilisierungseffekte durch Pflanzen berücksichtigt, sind die Ergebnisse für eine Situation direkt nach der Ernte zuverlässiger. Im Gegensatz zu ero-SMINF kann das ABAGis zwar keine Einzelstarkregenereignisse abbilden, jedoch ist es in der Lage, die Erosivität räumlich darzustellen. Dadurch können Bereiche mit einer besonders hohen Gefährdung besser identifiziert werden. So konnte man im mittleren Bereich des Untersuchungsgebietes Vietzbach mehrere li-

nienhafte Erosionspfade erkennen, an welchen die Erosivität sehr hoch war. Maßnahmen sollten sich vor allem auf diesen Bereich beziehen.

Im Untersuchungsgebiet des Regenbeeks zeigte das Erosionsmodell BEM deutlich, dass die aus Klostermansfeld eingeleiteten Regenwasserabflüsse maßgeblich für die Erosion am Bachbett sind. Durch den Vergleich zwischen kritischen und gemessenen Werten ist eine Einschätzung zur Bachbetterosion deutlich vereinfacht worden. Jedoch müssen die Eingabeparameter sehr genau abgeschätzt werden, da es sonst zu Fehleinschätzungen oder Missinterpretationen kommen kann.

#### **4.2. Maßnahmenentwicklung zur Erosionsminderung**

Nachdem die Erosionsgefährdung in den Untersuchungsgebieten Vietzbach und Regenbeek bestimmt wurde, können die Modelle ero-SMINF, ABAGis und BEM für eine Variantenuntersuchung verwendet werden. Auf diese Weise können Maßnahmen simuliert und so deren Wirksamkeit ermittelt werden. Auf dieser Grundlage können dann z.B. geeignete Maßnahmenpläne erstellt werden.

Die Maßnahmenevaluation soll anhand des Vietzbaches und des ABAGis aufgezeigt werden. Hierbei erfolgt eine Konzentration auf den Einfluss verschiedener Landnutzungen und Bodenbearbeitungsverfahren. Grundlage dafür bildet der „Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten“ [DEUMELANDT & KASIMIR, 2014, S.61]. Abbildung 13 zeigt den Einfluss verschiedener Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungen auf die Bodenerosion. Dargestellt ist die aktuelle Nutzung (oben links) und im Vergleich dazu nichtwendende Bodenbearbeitungsverfahren (z.B. konservierende Bodenbearbeitung, Mulchen, Direktsaat) mit einem geringen Verbleib von Ernterückständen (10 % Bodenbedeckung (geringe BB)) und einem hohen Verbleib (30 % Bodenbedeckung (hohe BB)). Im Vergleich zur aktuellen Bewirtschaftung nimmt die Erosion bei nichtwendender Bodenbearbeitung um ca. 45% ab. Außerdem sinkt bei einer hohen Bodenbedeckung die Bodenerosion noch einmal um zusätzliche 27%. Bei anderen Fruchtfolgen, die in der Folge Mais enthalten, kann eine deutliche Zunahme der Erosion, zum Teil bis zu 200% bei Mais, beobachtet werden. Bei diesen Fruchtfolgen kann eine nichtwendende Bodenbearbeitung die Erosion deutlich senken.



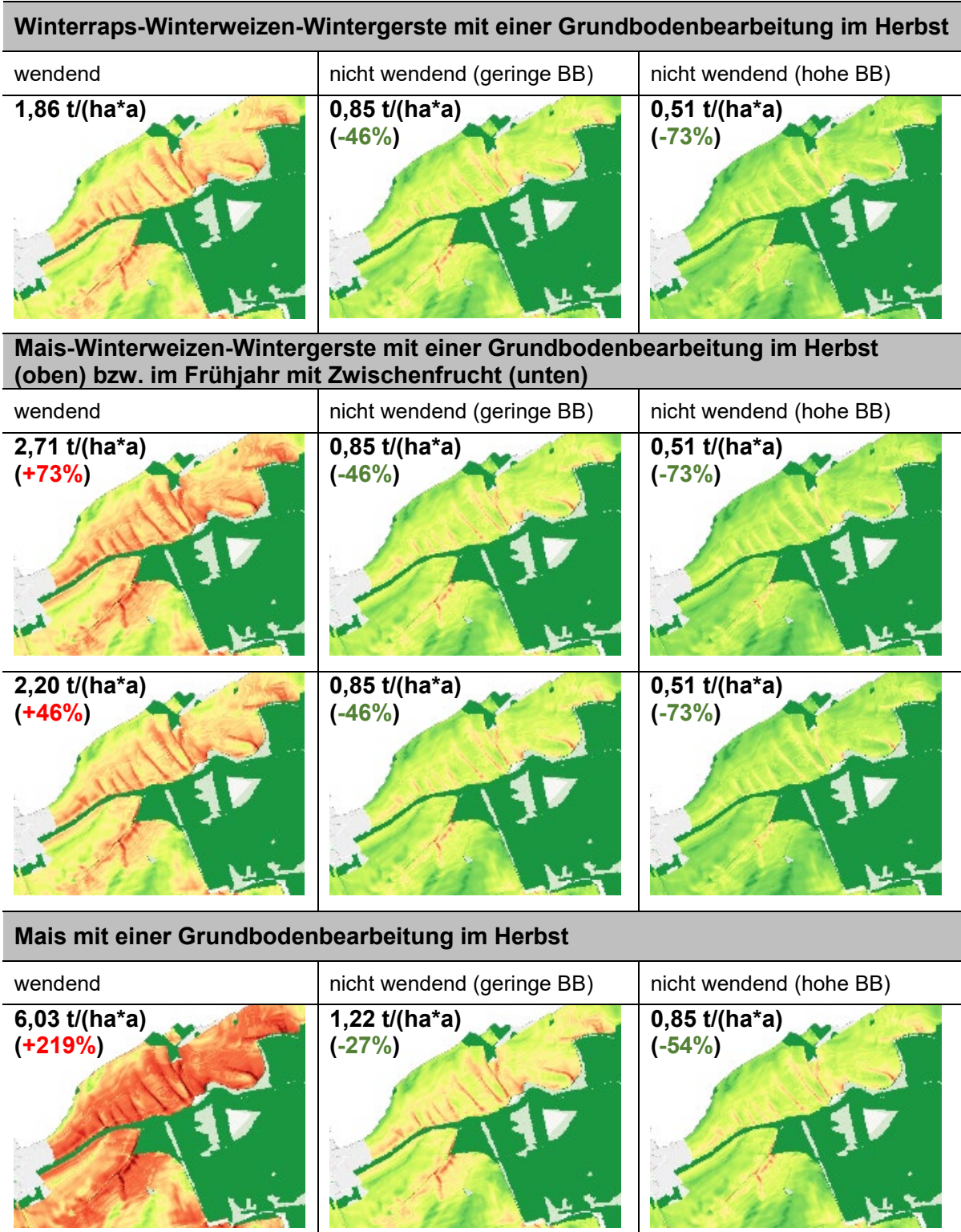


Abbildung 13: Potenzieller Bodenabtrag im Planungsgebiet Vietzbach (Zahlen als Gebietsmittel bzw. relative Änderung im Vergleich zur Referenz) in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung

Die Variantenuntersuchung am Vietzbach zeigt, dass eine Verringerung des Bodenabtrags vor allem durch eine Umstellung auf nichtwendende Bodenbearbeitung erfolgen kann. Dies könnte auch auf die Schläge beschränkt werden, die mit einer höheren

Erosivität eingestuft wurden. Eine Fruchtfolgenumstellung, insbesondere auf Mais, sollte dagegen vermieden werden oder aber nur mit konservierenden Bodenbearbeitungen kombiniert werden.

Zur Überprüfung, ob diese Maßnahmen auch in Zukunft, insbesondere in Hinblick auf den Klimawandel, noch wirksam sind, sollen im Folgenden die Ergebnisse der Klimawandel-Auswertungen aufgezeigt werden.

Tabelle 8: Monats- und Jahresmittelwerte des Niederschlags für die Vergangenheit (gemessener Niederschlag der Station Mansfeld-Annarode), und für die nahe und die ferne Zukunft (RCP-Klimaszenarien)

Zeitraum	Niederschlag [mm]												R-Faktor Jahr	
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Jahr
Vergangenheit (2007-2018)	50,4	27,6	41,2	31,2	66,5	61,2	79,2	67,1	65,0	41,3	49,2	50,2	630,1	98,1
Nahe Zukunft (2021-2050)	54,9	31,0	44,4	35,0	71,8	63,4	82,7	69,5	66,1	43,8	53,6	56,0	672,2	109,4
Ferne Zukunft (2071-2100*)	64,6	33,5	49,0	37,2	77,2	67,6	76,2	68,2	62,2	49,1	60,2	64,8	709,8	113,4

\* HadGEM2-Modell von 2070-2099

Wie in Tabelle 8 dargestellt, wird von der nahen Zukunft bis zur fernen Zukunft ein grundsätzlicher Anstieg des monatlichen und jährlichen Niederschlags projiziert. Im Jahresmittel beträgt dieser in der nahen Zukunft 7% und in der fernen Zukunft 13%. Die Niederschläge nehmen besonders stark in den Monaten Januar bis Mai und Oktober bis Dezember zu, um bis zu 29% in der fernen Zukunft. In den Sommermonaten (Juni bis September) ist dagegen der Anstieg sehr gering.

Die Änderungen des jährlichen Niederschlags haben direkten Einfluss auf den R-Faktor. Der R-Faktor nimmt von der Vergangenheit zur nahen Zukunft und fernen Zukunft insgesamt zu.

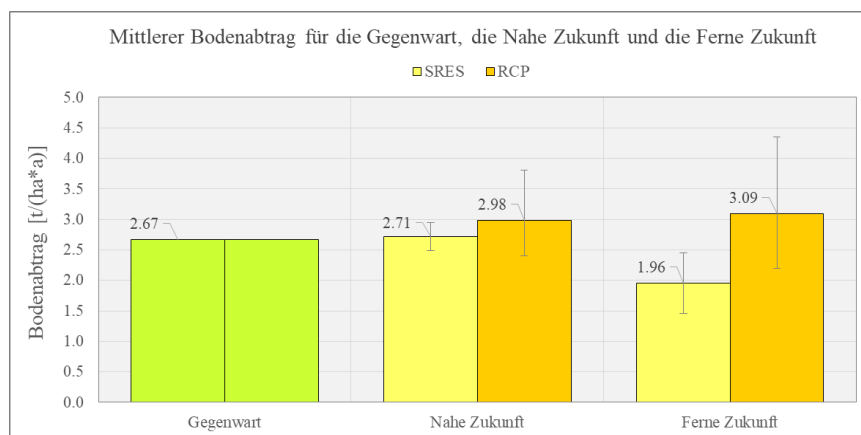


Abbildung 14: Mittlerer jährlicher Bodenabtrag der SRES- und RCP-Modelle im Vergleich Gegenwart für nahe Zukunft bzw. ferne Zukunft (mit Spannweite der Klimamodellensemble)



Abbildung 14 zeigt die Auswirkung des veränderten R-Faktors auf die Bodenerosion. Im Mittel über das Planungsgebiet Vietzbach liegt ein aktueller potenzieller Bodenabtrag von  $2,67 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$  vor. Zur nahen Zukunft nimmt sowohl für die SRES- als auch für die RCP-Szenarien die Bodenerosion im Mittel zu. Nicht alle Klimamodelle projizieren jedoch dieselben Änderungen. Die Spannweite bzw. Schwankungsbreite des SRES-Klimaensembles (graue Linie) liegt zwischen  $-0,2$  und  $+0,2 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$  und für das RCP-Ensemble zwischen  $-0,6$  und  $+0,8 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ . Bis zur fernen Zukunft nimmt der Bodenabtrag nach den SRES-Modellen grundsätzlich ab, nach den RCP-Modellen zu. Wie jedoch zu erkennen ist, ist auch die Spannweite der Klimaensembles größer. Die Unsicherheit hinsichtlich der zukünftigen Bodenerosion in der fernen Zukunft ist damit größer.

Die hier dargestellten Ergebnisse der Variantenuntersuchung zeigen zwei der wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten des ABAGis. Diese ist zum einen die Maßnahmenevaluation. Am Beispiel der Landnutzungsänderung kann man dabei den starken Einfluss der Bodenbearbeitung erkennen. Die Umstellung auf die konservierende (oder auch nichtwendende; bodenschonende) Bodenbearbeitung hat das Potenzial, die Bodenerosion um mehr als die Hälfte zu senken. Besonders an Orten, wo erosionsgefährdende Fruchtfolgen (mit Mais oder Kartoffeln) angebaut werden, ist eine Umstellung auf eine nichtwendende Bodenbearbeitung zu empfehlen. Zum anderen ist ABAGis in der Lage, die Effekte des Klimawandels auf die flächenhafte Bodenerosion zu simulieren. Am Beispiel des Untersuchungsgebietes Vietzbaches wurde (aufgrund der Zunahme von Niederschlägen) für die nahe und ferne Zukunft eine Erhöhung der Bodenerosion um 11% bzw. 16% festgestellt. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die tatsächliche Änderung der Erosivität durch den Klimawandel mit großen Unsicherheiten einhergeht. Zum einen stellen bereits die Klimamodelle nur eine von vielen Varianten dar, wie sich das Klima in der Zukunft ändert. Die Auswertung am Vietzbach zeigt eine Spannweite des zukünftigen mittleren Bodenabtrags zwischen  $2,19$  und  $4,35 \text{ t}/(\text{ha} \cdot \text{a})$ . Zum anderen ist die Einbeziehung eines mittleren Jahresniederschlages für die Bodenerosion vergleichsweise grob. Bodenerosion auf landwirtschaftlichen Flächen wird von Starkniederschlagsereignissen erzeugt, welche in kurzen Zeiträumen (10-20 Minuten) fallen. Durch einen Jahresniederschlag können weder veränderte Intensitäten noch saisonale Änderungen erfasst werden. Grundsätzlich zeigt die Auswertung jedoch, dass eine Änderung des Niederschlags nicht so große Auswirkung

auf die Bodenerosion hat, wie eine Umstellung auf die bodenschonende Bodenbearbeitung (Änderung durch den Klimawandel 10-16%, Änderung durch konservierende Bodenbearbeitung 45-80%). Aus diesem Grund ist die konservierende Bodenbearbeitung eine geeignete Methode zur Verringerung der negativen Auswirkungen des Klimawandels.

Des Weiteren soll anhand des Untersuchungsgebietes des Regenbeeks und dem Erosionswerkzeug BEM der Einfluss eines Gewässerausbaus auf die Bachbetterosion aufgezeigt werden. Im Fokus der Untersuchung stehen die Veränderung der Rauigkeit, der unteren Gerinnebreite und der Uferneigung.

Tabelle 9: Absolute und relative Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeit ( $v$ ) bei veränderten Rauigkeitswerten, von hydraulisch glatt (hohe Werte) bis hydraulisch rau (niedrige Werte)

		Rauigkeit [ $m^{1/3}/s$ ]					
		60	55	40	33	25	20
<b>Hochwasser</b>	$v$ [m/s]	3,29	3,09	2,47	2,16	1,77	1,51
	Änderung	33%	25%	0%	-13%	-28%	-39%

Tabelle 10: Absolute und relative Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeit ( $v$ ) bei veränderter Gerinnegeometrie - Gerinnebreite

		Gerinnebreite [m]					
		0,8	0,6	0,4	1,0	1,2	2,0
<b>Hochwasser</b>	$v$ [m/s]	2,83	2,84	2,84	2,82	2,80	2,68
	Änderung	0%	0%	0%	0%	-1%	-5%

Tabelle 11: Absolute und relative Veränderung der mittleren Fließgeschwindigkeit ( $v$ ) bei veränderter Gerinnegeometrie - Uferneigung

		Uferneigung [-]						
		1	1,33	1,5	2	3	4	5
<b>Hochwasser</b>	$v$ [m/s]	2,90	2,83	2,79	2,68	2,49	2,34	2,23
	Änderung	2%	0%	-1%	-5%	-12%	-17%	-21%

Tabelle 9 zeigt, dass die Veränderung der Rauigkeitsverhältnisse im Gewässer einen großen Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit hat. Ein glattes Gerinne ( $k_{Str} = 60$ ; z.B. künstliches Gerinne mit Betonverbau (rau) oder glatten Bruchsteinen) kann die Geschwindigkeit um bis zu 33% erhöhen. Ein raues Gerinne ( $k_{Str} = 20$ ; z.B. natürliche Gerinne mit Felsgestein, Geröll oder künstliche Gerinne mit groben Steinschüttungen) kann die Fließgeschwindigkeiten um bis zu 39% senken. Die Erhöhung der Rauigkeit

(Verringerung des  $k_{Str}$ -Wertes) ist somit ein geeignetes Mittel, die Erosionsneigung eines Gewässers zu verringern. Die Rauigkeit kann durch Steinschüttungen, aber auch durch Bepflanzung des Gerinnes erhöht werden. Ein Ausbau des Gewässers mit einem glatteren Gerinne ist dagegen nicht zu empfehlen.

In Tabelle 10 ist der Einfluss der Gerinnebreite auf die Fließgeschwindigkeit zu erkennen. Je schmaler das Gerinne, desto größer werden die Geschwindigkeiten. Mit zunehmender Breite sinken die Geschwindigkeiten. Bei Hochwasser nehmen die Geschwindigkeiten um maximal 5% ab. Somit ist die Verbreiterung des Gerinnes zum Schutz vor Erosion als alleiniges Mittel nicht geeignet und nur in Kombination mit anderen Maßnahmen sinnvoll.

Der Einfluss der Uferneigung ist in Tabelle 11 zu sehen. Je flacher die Uferneigung, desto geringer sind die Fließgeschwindigkeiten. Im Hochwasserfall können die Fließgeschwindigkeiten um bis zu 21% abnehmen. Die Verbreiterung des Gerinnes, sowie Abflachung des Ufers erfordern in der Regel ausreichend Platz. In Kombination mit einem raueren Gerinne kann die Fließgeschwindigkeit jedoch deutlich gesenkt und damit die Erosionsneigung des Gewässers vermindert werden. Insgesamt hat der Ausbau des Gewässers Regenbeek eine begrenzt mindernde Wirkung auf die Erosion. Effektiver und durch die Akteur\*innen angestrebt, ist die Minimierung der Abflussmenge, welche maßgeblich für die hohen Fließgeschwindigkeiten ist.

Auf Grundlage der so gewonnenen Erkenntnisse für die Untersuchungsgebiete konnten Maßnahmen vorgeschlagen und diskutiert werden. Entscheidend für die Wahl von Maßnahmen waren jedoch nicht nur die Ergebnisse der Erosionsmodelle, sondern auch die Resultate der entscheidungsunterstützenden Werkzeuge (Geoinformationssysteme bzw. webbasierte Geodienste), die als verbindendes Element fungieren.

### **4.3 Das interaktive, webbasierte Kartensystem**

Geoinformationssysteme und webbasierte Geodienste sind entscheidungsunterstützende Werkzeuge mittels derer raumbezogene Informationen erfasst, verwaltet, analysiert und visualisiert werden können. In den vorangehenden Kapiteln wurden bereits einige Beispiele hierfür gezeigt. Insbesondere die Analyse der Daten, die zu neuen, vorher nicht existierenden Entscheidungsgrundlagen führen, sind für alle Akteur\*innen eines inter- bzw. transdisziplinären Projektteams von großem Nutzen. Karten, als Informationsprodukt eines Geoinformationssystems liefern eine transparente und nachvollziehbare Grundlage für Diskussionen und letztendlich Maßnahmenplanungen, die zur Förderung der Akzeptanz beiträgt. Die vorangegangenen Abschnitte haben den Nutzen von Geoinformationssystemen und der Integration von Simulationsmodellen bereits deutlich aufgezeigt. Das Online-Kartensystem, das im Projekt BebeR umfassend erweitert wurde, ermöglichte Akteur\*innen, auf Geobasis- und -fachdaten verschiedener Sektoren zuzugreifen und diese ggf. in unterschiedlicher Weise zu kombinieren. Mithilfe des webbasierten Geodienstes ist es möglich, die zuvor beschriebenen Ansätze transdisziplinärer Zusammenarbeit effektiv zu unterstützen, da die Beziehungen zwischen vorher oftmals nur sektoral bearbeiteten Themen deutlich werden. Folglich können über Sektorgrenzen hinweg, also unter Berücksichtigung von wesentlich mehr Daten und Analyseergebnissen, Entscheidungen getroffen werden. Die folgende Abbildung 15 zeigt die Integration sowohl transsektoraler Datenbestände, als auch die Möglichkeit, diese Daten zu analysieren und den visuellen Output zur Entscheidungsunterstützung in Living-Lab-basierten Projektarchitekturen heranzuziehen, so wie im BebeR-Projekt umgesetzt. Das interaktive Kartensystem kann in diesem Sinne als räumliches, entscheidungsunterstützendes System angesehen werden. Das System wurde dabei so aufgebaut, dass sowohl eine Nutzung am Desktop (priorisierte Variante) als auch eine mobile Nutzung vor Ort ermöglicht wurde. Für die mobile Nutzung wurde eine Funktion der Standortidentifizierung integriert, welche Nutzer\*innen einen Kartenausschnitt der jeweiligen aktuellen Position zeigt. Weiterhin wurde eine Funktionalität zum Export selbst kombinierter (Geo-) Datenlayer (siehe Kapitel 4.3.1) als Karte im PDF-Format bereitgestellt. Diese können durch Auswahl des Formates (A4 - A0) sowie der Auflösung (72dpi - 300dpi) sowohl als Übersichtskarte, als auch für die Detailplanungen digital genutzt oder in ausgedruckter Form zur Weiterbearbeitung verwendet werden.

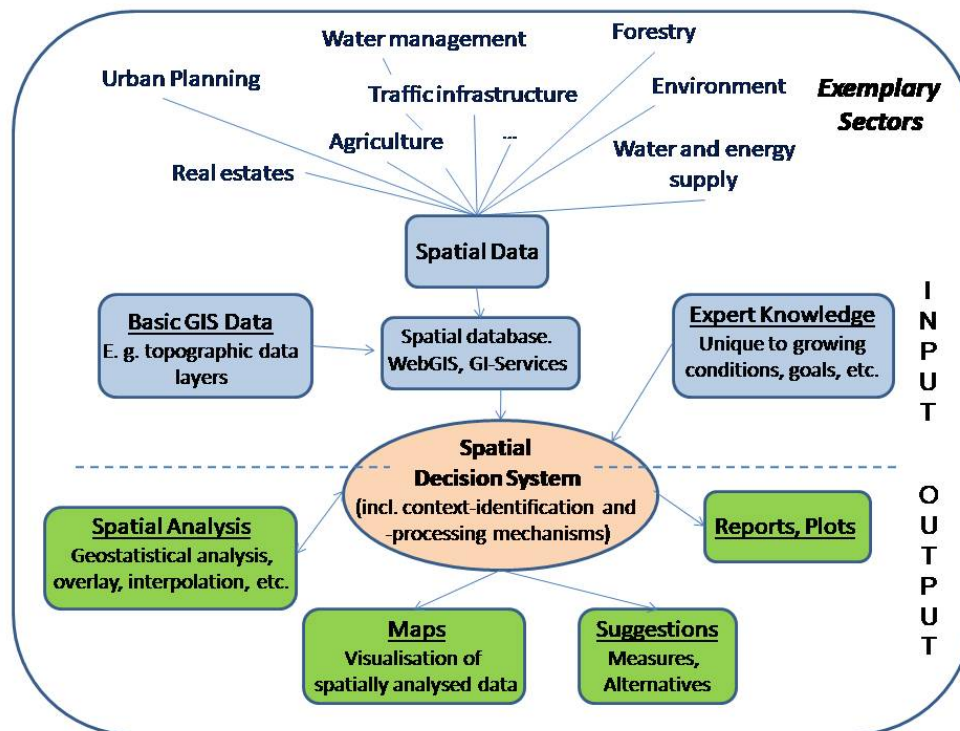


Abbildung 15: Geodaten aus verschiedenen Sektoren können inter- und transdisziplinär integriert werden und dienen der Entscheidungsunterstützung für alle relevanten Akteure (Quelle: [Pundt 2017]).

#### 4.3.1 Online-Dienste zur transdisziplinären Zusammenarbeit

Abbildung 10 (Kap. 3.2.2) und Abbildung 11 (Kap. 3.3) zeigen, dass die Vorgehensweise und die Datennutzung bei der Entscheidung über Maßnahmen von großer Bedeutung sind. Im webbasierten Kartensystem wurden die sektor-spezifischen Daten integriert und den Akteur\*innen interaktiv zur Verfügung gestellt. Interaktiv bezieht sich dabei auf die explizite Möglichkeit der Nutzer\*innen, (Geo-) Datenlayer einzeln, aber auch kombiniert darzustellen. Auf diese Weise eröffnete sich für viele Akteur\*innen die Möglichkeit, auch Daten anderer Sektoren einzusehen, mit eigenen Daten zu verschneiden und mit Hilfe des GIS neue Sichten auf, von Klimaanpassungsmaßnahmen beeinflusste, natürliche und städtische Lebensräume zu schaffen. Alternative Szenarien können erzeugt und diskutiert werden. Das GIS-Werkzeug trug damit maßgeblich zur Konsensfindung bei der Maßnahmenplanung bei. Die folgende Abbildung 16 zeigt beispielhaft und in Ergänzung der anderen vorher gezeigten GIS-erzeugten Darstellungen, die Eingrenzung möglicher Standorte für ein Regenrückhaltebecken, das im Fall von Starkregenereignissen größere Wassermassen eines schnell anschwellenden und zu teils massiver Erosion neigenden Fließgewässers zwischenspeichern soll. Die Standortfindung wurde kontrovers und unter Einbringung verschiedener Pros und

Kontras der beteiligten Akteur\*innen diskutiert. Dabei spielten wissenschaftliche, planerische und weitere „lebensweltliche“ Argumente eine Rolle. Schlussendlich konnte jedoch der Konsens erreicht und ein Lösungsvorschlag erarbeitet werden. Das Beispiel zeigt, wie mittels transdisziplinärer Kooperation von Wissenschaft und Planungspraxis (in ihren unterschiedlichen Facetten) mit Hilfe digitaler Werkzeuge wie GIS nachhaltige Problemlösungen erreicht werden können. Die Interaktivität spielt dabei eine herausragende Rolle, denn Akteur\*innen können mit unterschiedlichen Daten(-sätzen) arbeiten und auf diese Weise die eigene, sektor-spezifische Perspektive bereits bei der Datenexploration auf andere Bereiche ausweiten. Ähnliche Erfahrungen werden auch aus anderen Projekten berichtet (z.B. [TELLEZ-ARENAS et al., 2018]).

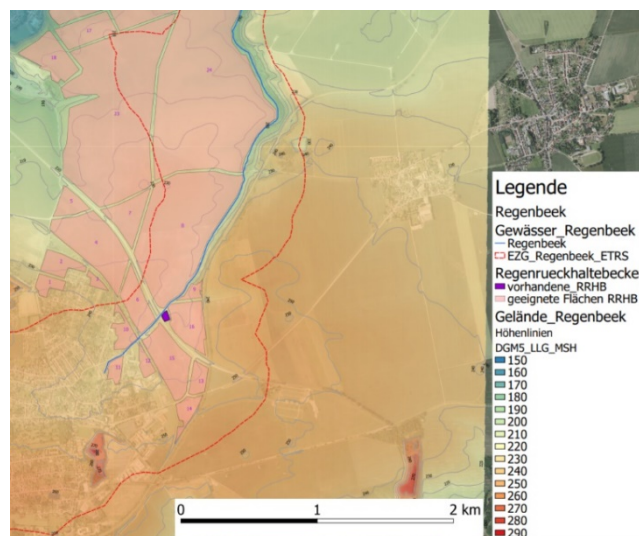


Abbildung 16: GIS-gestützte Standortsuche für ein Regenrückhaltebecken auf der Grundlage eines digitalen Geländemodelles, Luftbildern und verschiedener Fachdatenlayer – Karten als Kommunikationsmedium unterstützen Inter- und Transdisziplinarität (Bildquelle: [www.klimpass.de](http://www.klimpass.de))

#### 4.3.2 Interaktives Forum

Neben dem Kartensystem wird auf [www.klimpass.de](http://www.klimpass.de) ein interaktives Forum zur Verfügung gestellt, das es sowohl den Fachkundigen aus der Verwaltung, als auch Wissenschaftler\*innen und darüber hinaus Bürger\*innen ermöglicht, sich aktiv am Entwicklungsprozess von Anpassungsmaßnahmen zu beteiligen. Gerade letzteres ist wichtig, um Akzeptanz für zu ergreifende Maßnahmen in der Bevölkerung zu erreichen, wie auch andere Beispiele zeigen (z.B. [LIPSKI & HACHMANN 2015]). Die Projektwebseite verfolgt einen zweigleisigen Ansatz. Einerseits einen öffentlich zugänglichen Forenbereich (Forum Bürgerbeteiligung), welcher keine Anmeldung am System voraussetzt und somit der Allgemeinheit zur Verfügung steht. Andererseits einen geschützten Zugang (Forum Projektakteur\*innen), welcher durch Zugangskontrolle nicht

öffentlich einsehbar ist. Dieser Bereich dient dem internen Austausch der Akteur\*innen. Abbildung 17 zeigt den Auswahlbereich der Forenzugänge unter dem Menüpunkt "MITMACHEN" – hier den geschützten Zugang zum Diskussionsforum für Akteur\*innen. Für beide Diskussionsforen wurden Bereiche geschaffen, in welchen auf einfache Weise Eingaben gemacht werden können. Differenzierte Forenkategorien, beispielsweise für das Forum der Bürger\*innenbeteiligung für Schadensmeldungen sowie allgemeinen Hinweisen zum Projekt BebeR mit jeweils verschiedenen thematischen Beiträgen, unterstützten die Orientierung und Strukturierung im Diskussionsforum. Hier von erhoffte man sich insbesondere auch die Berücksichtigung wichtiger Fakten über kleinräumige Sachverhalte, die oft nur bei langjährigen Anwohner\*innen vorhanden sind und in vielen Fällen in der Planungspraxis ignoriert werden. In der Rückschau muss allerdings gesagt werden, dass das Forum vergleichsweise wenig genutzt wurde. Dies ist insbesondere bei den behördlichen Akteur\*innen wohl darauf zurückzuführen, dass Forumsbeiträge weniger spontan gemacht werden. Viele Aspekte, die letztlich zu einer Maßnahmenentscheidung führen, sind in teils umfassenden Abstimmungsprozessen zu diskutieren und aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten. Ein Forum dient – wie andere Beispiele zeigen – jedoch eher zur Publikation vielfältiger und auch spontaner Diskussionsbeiträge. Die Notwendigkeit der vorherigen Abstimmung führte daher zu größerer Zurückhaltung bei der Nutzung des Forums. Diese Erfahrung war insofern interessant, als dass das interaktive Kartensystem sich demgegenüber eines sehr großen Nutzerkreises und entsprechender Anerkennung aller Akteur\*innen erfreute.



**Abbildung 17:** Das interaktive Nutzer\*innenforum auf der BebeR-Projekt-Website (hier gezeigt der geschützte Zugangsbereich zum Forum für Projektakteur\*innen) wurde im Gegensatz zum GIS-gestützten Kartensystem nur sporadisch genutzt (Bildquelle: www.klimpass.de)

### 4.3.3 Umgang mit Unsicherheit im Rahmen der Entscheidungsunterstützung

Analyseergebnisse und daraus resultierende Problemlösungsansätze und Entscheidungen über zu ergreifende Klimaanpassungsmaßnahmen sind grundsätzlich mit Unsicherheiten behaftet. Die Unsicherheit von Klimaprognosen beeinflusst auch den Grad der „Sicherheit“ der Akteur\*innen bezüglich der Maßnahmenplanung. Auf diesen Aspekt wurde in den hier erwähnten Projekten von verschiedenen Teilnehmer\*innen immer wieder aufmerksam gemacht. Unsicherheiten dieser Art können im Zweifel dazu führen, dass Problemlösungen gar nicht erst angegangen werden, da man ja (noch) nicht welche Entwicklung tatsächlich eintreten wird. Dabei entsteht Unsicherheit vor allem aus dem Grad des Wissens über einen Sachverhalt. Dies kann die Unsicherheit bezüglich zugrundeliegender Daten, aber auch Annahmen und Modelle sein, die bei der Problemanalyse und Lösungsfindung Einsatz finden. Nachfolgende Abbildung 18 fasst dieses Zusammenspiel von Wissen auf der einen und Unsicherheit auf der anderen Seite zusammen. Dabei wurde die ursprüngliche Abbildung ausschließlich auf die wissenschaftliche Arbeit bezogen. Sie lässt sich jedoch auf den Living Lab-Ansatz anpassen, indem nicht ausschließlich auf die Wissenschaft, sondern alle Akteur\*innen eines Projektes geschaut wird. Die Abbildung 18 beschreibt treffend den Umgang mit Unsicherheit, denn zwischen den Extremen „etabliertes Wissen“ und „spekulatives Wissen“ sind in der Diskussion um Klimaanpassungsmaßnahmen verschiedene Stufen vorhanden, oder wie Granger Morgan et al. betonte: „Many decisions involving climate change entail judgments in all four quadrants of this diagram“ [GRANGER MORGAN et al. 2009, S. 42]

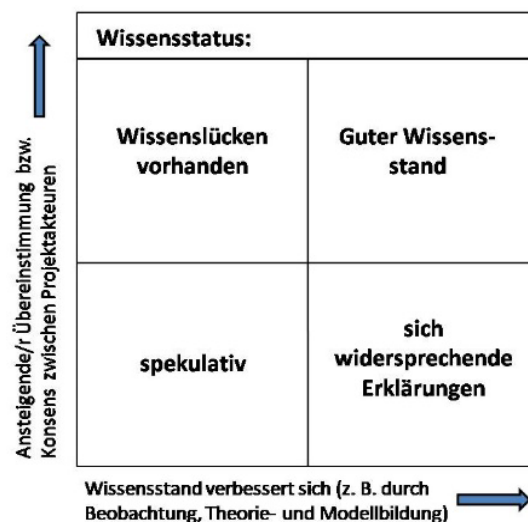


Abbildung 18: Kategorisierung von Wissen und Unsicherheit [GRANGER MORGAN et al. 2009, verändert]



Bezüglich des Umgangs mit Unsicherheiten stellte sich der Living Lab Ansatz ebenfalls als hilfreich heraus. Zum einen können Unsicherheiten durch das Zusammenbringen der Expertise der verschiedenen Projektbeteiligten gemindert, im besten Fall eliminiert werden. Da, wo dies nicht der Fall ist, weil es schlicht wissenschaftlich nicht oder nicht ausreichend geklärte Fragestellungen gibt, kann es dennoch positiv wirken, die Zweifel zu beschreiben und bei der Problemlösung bzw. Maßnahmenplanung explizit zu berücksichtigen. Die klare Ansprache der Unsicherheit führte in nicht wenigen Fällen dazu, dass die „Nichts tun“-Option verworfen wurde und trotz verbleibender Unsicherheiten Maßnahmen definiert und priorisiert wurden. Die Priorisierung muss wiederum auf eine transparente Grundlage gestellt werden, was durch Methoden der multikriteriellen Bewertung erreicht werden kann.

#### **4.4 Multikriterielle Bewertung der Maßnahmen zur Erosionsminderung**

Wurden im Kapitel 3.3 bereits die methodischen Grundlagen der verschiedenen Entscheidungsunterstützungsverfahren und somit die Basis der multikriteriellen Bewertung beschrieben, so befasst sich dieses Kapitel mit dessen Anwendung und Herangehensweise. Das Ziel dieser multikriteriellen Bewertung soll es sein, konkrete Vorschläge zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen mit dem Ziel der Reduzierung von Erosionsereignissen in den beiden Untersuchungsgebieten Regenbeek und Vietzbach des BebeR-Projektes zu vergleichen und Vorzugslösungen in Form einer Rangfolgendarstellung abzubilden. Diese Bewertungsform wiederum soll, ergänzend zum, im BebeR-Projekt zuvor durchgeführten, Abstimmungsprozess mittels Workshops und bilateralen sowie Werkstattgesprächen einem Vergleich der jeweiligen Ergebnisse, als Entscheidungsunterstützung zur Auswahl einer Maßnahmenumsetzung dienen.

##### **4.4.1 Kriteriendefinition und -gewichtung**

Um eine Bewertung der Einzelmaßnahmen durchführen zu können, bedarf es zunächst, wie im Kapitel 3.3 beschrieben, einer Festlegung der Zielvorgaben. Diese Zielvorgaben dienen anschließend als Bewertungsgrundlage für jede denkbare Einzelmaßnahme bzw. Maßnahmenkombination. Im Kontext der Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen haben sich hierbei in verschiedenen Untersuchungen einzelne Zielgruppen hervorgetan, welche auch innerhalb dieser Untersuchung Anwendung fanden.

Die folgenden abgestimmten Aspekte (Zielgruppen) sollten berücksichtigt werden:

- möglichst geringer Anspruch von finanziellen und personellen Ressourcen
- Minimierung der Auswirkung des Klimawandels (d.h. Minderung von Schadensfolgen)
- möglichst geringe negative Auswirkungen auf andere Umweltgüter (z.B. auf Klimaschutz, Biodiversität, Landnutzung sowie andere Emissionen)

Diese Art der Zielgruppendefinition kann entsprechend der Art bzw. dem Kontext der durchzuführenden Klimaanpassungsmaßnahme oder Kombination auch durch regional bzw. lokal vorherrschende Aspekte (beispielsweise ländlicher oder städtischer Charakter, Budget- oder Zeitvorgaben, Auflagen oder Einschränkungen wie beispielsweise Schadstoffbelastungen etc.) variieren. Der individuelle Charakter einer Klimaanpassungsmaßnahme lässt somit einen hohen Spielraum bei der Festlegung der Zielvorgaben und sollte stets unter der Einbindung aller an der geplanten Maßnahmenumsetzung beteiligten Akteur\*innen erfolgen.

Der Beteiligungsgrad der Akteur\*innen spielt für den Auswahlprozess einer Klimaanpassungsmaßnahme eine entscheidende Rolle wie die Kapitel 4.2 und 4.3 beschreiben. Um die stellenweise differenzierten Ansichten oder Interessen verschiedener Akteur\*innengruppen zu berücksichtigen, sollte aus diesem Anlass eine möglichst vollständige Beteiligung aller Stakeholder\*innen stattfinden. Diese sollten weiterhin möglichst einer Gleichverteilung unterliegen, sodass eventuell gegensätzliche Interessensbekundungen ausgeglichen werden können. Diesem Umstand, in der vorliegenden multikriteriellen Bewertung, steht der Ansatz entgegen, über Gewichtungsangaben einen entsprechenden Ausgleich zu gewährleisten. Neben den gemeinschaftlich festgelegten drei Zielgruppen wurden für jeden Zielbereich verschiedene Kriterien generiert und mit den Akteur\*innen in Workshops abgestimmt. Die hier ausgewählten Kriterien beziehen sich auf die Entscheidungsproblematik der Projektgebiete Regenbeek sowie Vietzbach. Da hier jedoch hauptsächlich allgemein gültige Kriterien genutzt wurden, können diese mitunter auch für andere Entscheidungsunterstützungsverfahren bei der Bewertung geeigneter Klimaanpassungsmaßnahmen genutzt werden.

Im Zielbereich "Minimierung finanzieller und personellen Ressourcen" wurden folgende Kriterien ausgewählt:

- (1) Investitionskosten - Wie hoch fallen die Investitionskosten in Euro für jede Maßnahme aus?
- (2) laufende Kosten - Wie hoch belaufen sich die Kosten in Euro für die Unterhaltung der Maßnahme (Kontrolle des Rückhaltebeckens, Instandhaltung des Kanalrohres bzw. der Flussschlingen)?
- (3) Lebensdauer - Wie hoch ist die Lebensdauer der jeweiligen Maßnahme in Jahren?

In Bezug auf das Ziel "Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels" wurden nachfolgende Kriterien bestimmt:

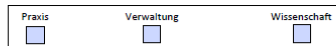
- (4) Sicherung der Lebensgrundlage – Trägt die Umsetzung der Maßnahme zur Sicherheit der Anwohner\*innen und deren Schadenbegrenzung bei? Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Skalenbewertung von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch), wobei die Planungsalternative bevorzugt wird, die den höchsten Wert hat.
- (5) Gesundheitseffekte – Verstärkt die Maßnahme eine mögliche Beeinträchtigung der Lebensqualität bzw. verstärkt die Maßnahme negative Gesundheitsgefahren, die sich aus dem Klimawandel ergeben? Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Skalenbewertung von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch). Wobei die Alternative mit dem geringsten Wert präferiert wird.
- (6) Berücksichtigung demografischer Wandel – Berücksichtigt die Umsetzung der Maßnahme die gesellschaftliche Entwicklung zu einer immer älter werdenden Bevölkerung und dem damit verbundenen Bevölkerungsrückgang? Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Skalenbewertung von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch), wobei die Planungsalternative mit dem höchsten Wert präferiert wird.

Im Bereich der Zielgruppe "Minimierung negativer Auswirkungen auf die Umwelt" konnten wiederum drei Kriterien bestimmt werden:

- (7) Biodiversität - Trägt die Umsetzung der Maßnahme zur Erhöhung der biologischen Vielfalt bei? Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Skalenbewertung von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch), wobei die Planungsalternative bevorzugt wird, die den höchsten Wert hat.
- (8) Potential zur Ressourcenschonung - Bewirkt die Maßnahme eine Einsparung von Ressourcen? Die Bewertung erfolgt anhand einer Skalenbewertung von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch), wobei die Planungsalternative bevorzugt wird, die den höchsten Wert hat.

(9) zusätzliche Landnutzung - Benötigt die Umsetzung der Maßnahme zusätzliche Fläche? Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Skala von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch), wobei die Planungsalternative bevorzugt wird, die den niedrigsten Wert hat.

Nach einer Festlegung und Beschreibung der drei Zielgruppen sowie der jeweiligen drei Kriterien pro Zielgruppe, nahm anschließend jeder Akteur\*innen eine eigenständige Gewichtung vor. Hierfür wurden allen Agierenden ein ausfüllbares PDF-Dokument, siehe Abbildung 19, mit entsprechenden Erläuterungen bereitgestellt.



**Projekt BeBeR - Ökonomische Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen**

Im Rahmen des Projektes BeBeR soll eine multikriterielle Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen für das Gewässer Regenbeek/Alte Wipper, ein relativ schmaler Bach, welcher zwischen Hettstedt und Klostermannsfeld liegt, durchgeführt werden. Für die Bewertung werden die aus den Untersuchungen der Hochschule Magdeburg-Stendal "Ursachenermittlung und Maßnahmenplanung für den Regenbeek/Alte Wipper bei Klostermannsfeld" sowie der im Rahmen verschiedener Workshops diskutierten und abgestimmten resultierenden Maßnahmen herangezogen und verglichen.

Grund hierfür ist, dass bei starken Niederschlagsereignissen sowie dem Eintritt der Schneeschmelze im Regenbeek ein vergleichsweise großer Abfluss entsteht. Laut der oben genannten Untersuchung ist der Wasserabfluss bei Regen mindestens 50-fach größer als im Normalzustand.<sup>1</sup> Aufgrund des enormen Abflusses kommt es in einigen Bereichen zu Uferabbrüchen und einer Eintiefung des Bachbettes. Der so entstandene Schlamm eintrag wird vom Abfluss mitgetragen und in den Stadtteil Burgörner-Aldorf (Hettstedt) geschwemmt.

Die Bewertung erfolgt mithilfe einer Software - PRIMATE - welche einen paarweisen Vergleich verschiedener Alternativen ermöglicht.

Um die Maßnahmen jedoch miteinander vergleichen zu können, benötigen wir Ihre mithilfe bezüglich der Ziel- und Kriteriengewichtungen sowie einer Bewertung der einzelnen Maßnahmen in Hinblick auf ausgewählte Kriterien.

Folgende Maßnahmen sollen gegenübergestellt werden:

**[1] Installation eines Regenrückhaltebeckens**

Laut der Berechnungen von Herrn Prof. Reinstorf müsste das Rückhaltebecken ein Volumen von ca. 4.400m<sup>3</sup> umfassen, um die Fließgeschwindigkeiten unter 2m/s zu halten. Somit würden im Falle einer Schlammabtragung durch Regenwasser geringere Mengen in Hettstedt ankommen. Die Maßnahme ist jedoch sehr kosten- und flächenintensiv.<sup>2</sup>

**[2] Verringerung des Gefälles durch Anlegen von Mäandern (Flussschlingen)**

Die Maßnahme beruht auf der Annahme, dass die Fließgeschwindigkeit durch eine Verringerung des Gefälles im Bach abnimmt. Durch solche Flusschlingen kann sich der Bach selbst besser an verändernde Bedingungen anpassen. Zu erwähen ist hier, dass sich am Bach bereits eine Art Mäandrierung beobachten lässt. Das heißt eine Verstärkung bzw. ein Ausbau der Schlingen würde den natürlichen Prozess unterstützen.<sup>3</sup> Weiterhin müssten die Flusschlingen nur im Rahmen eines kritischen Bereiches, der eine Länge von 1.750m umfasst, angelegt werden.

**[3] Verringerung der Fließgeschwindigkeit durch das Anlegen von Kaskaden (Stufen)**

Durch das Anlegen von Stufen/Abstürzen im Regenbeek könnte das Wasser durch jede Stufe gebremst und somit die Fließgeschwindigkeit verringert werden. Die Maßnahme wäre im Vergleich zu (2) kostensparender, jedoch bedarf es einer angemessenen Vorlaufzeit für eine genaue Untersuchung zur Festlegung der Abstände und Ausmaße der Stufen.<sup>4</sup> Wie in Alternative (2) wäre auch hier das Anlegen von Kaskaden nur im kritischen Bereich von 1.750m nötig.

**[4] Schaffung zusätzlicher Rückhalteräume im Kanalnetz**

Durch eine Schaffung zusätzlicher Rückhalteräume im Kanalnetz, könnte ein weiterer versteckter Rückhaltebereich geschaffen werden. Bei der Errichtung des vorhandenen Staukanals der Gemeinde, wurde zusätzliche Rückhaltebereiche früher bereits punktuell berücksichtigt. Es ist mangels Platzbedarf/Verfügbarkeit mit einem sehr hohen Kostenaufwand zu rechnen.

<sup>1</sup> Vgl. Reinstorf, F./ Köhn, J. (2014): Ursachenermittlung und Maßnahmenplanung für den Regenbeek/Alte Wipper bei Klostermannsfeld, S. 23.  
<sup>2</sup> Vgl. Reinstorf, F./ Köhn, J. (2014): Ursachenermittlung und Maßnahmenplanung für den Regenbeek/Alte Wipper bei Klostermannsfeld, S. 23-24.  
<sup>3</sup> Vgl. Reinstorf, F./ Köhn, J. (2014): Ursachenermittlung und Maßnahmenplanung für den Regenbeek/Alte Wipper bei Klostermannsfeld, S. 33.  
<sup>4</sup> Vgl. Reinstorf, F./ Köhn, J. (2014): Ursachenermittlung und Maßnahmenplanung für den Regenbeek/Alte Wipper bei Klostermannsfeld, S. 35.

Bei der Bewertung der ausgewählten Anpassungsmaßnahmen stehen drei Ziele im Mittelpunkt, die anhand einer prozentualen Bewertung (0% - 100%) gewichtet werden müssen:

- möglichst geringer Anspruch von finanziellen und personellen Ressourcen,
- Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels (d.h. Minderung von Schadensfolgen) und
- möglichst geringe negative Auswirkungen auf andere Umweltgüter (z.B. Landnutzung, Biodiversität).

Ziele	Gewichtung
Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen	
Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels	
Minimierung negativer Auswirkungen auf andere Umweltgüter	
Summe	100 %

Des Weiteren soll für die genannten Maßnahmen eine Gewichtung für folgende Kriterien innerhalb der Zielgruppen vorgenommen werden:

**Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen:**

- **Investitionskosten** - Wie hoch fallen die Investitionskosten in Euro für jede Maßnahme aus?
- **laufende Kosten** - Wie hoch belaufen sich die Kosten in Euro für die Unterhaltung der Maßnahme (Instandhaltung)?
- **zeitliche Umsetzung** - Wie viel Zeit in Monaten wird benötigt, die Maßnahme erstmalig umzusetzen?

Kriterien	Gewichtung
Investitionskosten	
laufende Kosten	
zeitliche Umsetzung	
Summe Gewichtung Zielgruppe Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen	100 %

**Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels:**

- **Sicherung der Lebensgrundlage** - Trägt die Umsetzung der Maßnahme langfristig zur Verringerung des Schlammeintrages und damit zu einer Schadensbegrenzung im Stadtteil Burgörner-Aldorf (Hettstedt) bei?
- **Gesundheitseffekte** - Kann es aufgrund der Maßnahme zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität sowie der psychischen und physischen Gesundheit aller angrenzenden Bewohner kommen?
- **Berücksichtigung demografischer Wandel** - Inwiefern berücksichtigt die Umsetzung der Maßnahme die gesellschaftliche Entwicklung zu einer immer älter werdenden Bevölkerung und den damit verbundenen Bevölkerungsrückgang?

Kriterien	Gewichtung
Sicherung der Lebensgrundlage	
Gesundheitseffekte	
Berücksichtigung demografischer Wandel	
Summe Gewichtung Zielgruppe Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels	100 %

Im Anschluss müssen die 12 Maßnahmen anhand der vorgestellten Kriterien bewertet werden. Hier ist Ihre Unterstützung im Bereich der Kriterien gefragt, die mithilfe der nachfolgenden Skala bewertet werden.

Skalenbewertung von 0 bis 5 (0 nicht vorhanden, 1 sehr gering, 2 gering, 3 mittel, 4 hoch, 5 sehr hoch)

Maßnahmen	Kriterien	Sicherung der Lebensgrundlage	Gesundheitseffekte	Berücksichtigung demographischer Wandel	Biodiversität	Potential zur Ressourcenschonung	Zusätzliche Landnutzung
(1) Installation eines Regenrückhaltebeckens mit einem Volumen von ca. 4.400m <sup>3</sup>		0	0	0	0	0	0
(2) Verringerung des Gefälles durch Anlegen von Mäandern		0	0	0	0	0	0
(3) Verringerung der Fließgeschwindigkeit durch Anlegen von Kaskaden		0	0	0	0	0	0
(4) Schaffung zusätzlicher Rückhalteräume im Kanalnetz		0	0	0	0	0	0
(5) Entseelung von Flächen → Versicherung auf Grundstücken		0	0	0	0	0	0
(6) Speicherung / Rückhalt auf Grundstücken mittels Zisternen oder Regentonnen		0	0	0	0	0	0
(7) Begrünung von Dachflächen		0	0	0	0	0	0
(8) Umleitung des Regenwassers in die Wipper mithilfe eines Kanalrohres		0	0	0	0	0	0
(9) Uferbefestigung (künstlich) z.B. mit Bodenplatten		0	0	0	0	0	0
(10) Uferbefestigung (natürlich) z.B. mit Gehölzen oder Störsteinen		0	0	0	0	0	0
(11) Schaffung eines Gewässerrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselementen		0	0	0	0	0	0
(12) Herstellung / Ausbau des Schlammfangs		0	0	0	0	0	0

Abbildung 19: Auszug aus dem Bewertungsbogen zum Gewässer Regenbeek

Ursprünglich wurde innerhalb der Workshops eine Gruppierung der Akteur\*innen nach Praxis, Verwaltung und Wissenschaft festgelegt. Da die Rücklaufquote der beantworteten Fragebögen in der Gruppe Praxis jedoch zu gering ausfiel, wurden die Gruppen Praxis und Verwaltung zusammengelegt um eine möglichst hohe Gleichverteilung der Einzelbewertung je Gruppe zu gewährleisten.

Die Gewichtungen, basierend auf den persönlichen Einschätzungen der Entscheidungsträger\*innen, wurden anschließend auf Grundlage der Gruppenzugehörigkeit (welches als einziges anzugebendes Kriterium im ansonsten anonymisierten Bewertungsverfahren abgefragt wurde) gemittelt und ergaben die in der nachfolgenden Tabelle 12 beschriebenen Gewichtungsangaben für das Gewässer Regenbeek bzw. in der Tabelle 13 für das Gewässer Vietzbach.

*Tabelle 12: Übersicht der Kriterien nach Zielen geordnet inkl. ihrer Gewichtungsangaben für das Gewässer Regenbeek*

Kriterien	Gewichtungen	
	Praxis/Verwaltung	Wissenschaft
Bewertungsgruppe		
(x) = Anzahl der eingereichten Bewertungen	(8)	(5)
<b>Summe Gewichtung Zielgruppe Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen</b>	33,75%	45%
Investitionskosten	32%	42%
laufende Kosten	42%	42%
Lebensdauer	26%	16%
<b>Summe Gewichtung Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels</b>	43,75%	27%
Sicherung der Lebensgrundlage	75%	68%
Gesundheitseffekte	19%	16%
Berücksichtigung demografischer Wandel	6%	16%
<b>Summe Gewichtung Minimierung negativer Auswirkungen auf andere Umweltgüter</b>	22,50%	28%
Biodiversität	28%	29%
Potenzial zur Ressourcenschonung	37%	40%
zusätzliche Landnutzung	36%	31%

Tabelle 13: Übersicht der Kriterien nach Zielen geordnet inkl. ihrer Gewichtungsangaben für das Gewässer Vietzbach

Kriterien	Gewichtungen	
	Praxis/Verwaltung	Wissenschaft
Bewertungsgruppe		
(x) = Anzahl der eingereichten Bewertungen	(7)	(5)
<b>Summe Gewichtung Zielgruppe Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen</b>	23%	45%
Investitionskosten	33%	48%
laufende Kosten	39%	38%
Lebensdauer	29%	14%
<b>Summe Gewichtung Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels</b>	54%	31%
Sicherung der Lebensgrundlage	78%	64%
Gesundheitseffekte	17%	21%
Berücksichtigung demografischer Wandel	5%	15%
<b>Summe Gewichtung Minimierung negativer Auswirkungen auf andere Umweltgüter</b>	24%	24%
Biodiversität	31%	42%
Potenzial zur Ressourcenschonung	38%	32%
zusätzliche Landnutzung	31%	26%

Wie die Tabelle 12 bzw. Tabelle 13 verdeutlichen, lag der Schwerpunkt der Gruppe Praxis/Verwaltung, welche aus sieben bzw. acht Einzelbewertungen gemittelt wurde, auf dem Ziel zur Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels. Die Gruppe Wissenschaft, bestehend aus der Mittelung von fünf Einzelbewertungen, ergab hingegen die höchste Gewichtungsangabe für das Ziel zur Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen. Dies erklärt sich vermutlich aus dem Umstand, dass die lokal (angrenzend an den Untersuchungsgebieten) tätigen Akteur\*innen, den akuten Bedarf, insbesondere zur Sicherung der Lebensgrundlage ansässiger Bewohner\*innen, vor den damit verbundenen Ressourcenaufwand stellen. Wohingegen die Gruppe Wissenschaft, mit ihren räumlich distanzierten Akteur\*innen, eher die Umsetzbarkeit einer erosionsmindernden Klimaanpassungsmaßnahme durch einen effizienten finanziellen sowie personellen Ressourceneinsatz als Schwerpunkt ansieht. Die wiederum gemittelten Gewichtungsangaben für jedes einzelne Kriterium pro Zielgruppe unterscheiden sich hingegen kaum.

#### 4.4.2 Bewertung der Maßnahmen (Planungsalternativen)

Dieser Abschnitt beschreibt die Bewertung der Maßnahmen in Hinblick auf die zuvor definierten Kriterien. Da die Investitions- bzw. laufenden Kosten sowie die Lebensdauer aller Planungsalternativen nur abgeschätzt, nicht jedoch detailliert berechnet werden konnten, wurde auf eine Bewertung dieser, in den definierten Kriterien der Zielgruppe „Minimierung finanzieller und personeller Ressourcen“, durch die Akteur\*innen verzichtet. Für die Skalenbewertung der weiteren sechs Kriterien erfolgte wie bei den Gewichtungsangaben eine Mittelung der Werte. Hierbei wurde jedoch eine Zusammenlegung der zuvor definierten Gruppierungen und somit eine Gesamtmittelung aller dreizehn eingegangenen Bewertungen durchgeführt. Die Ergebnisse können der Tabelle 14 (Vietzbach) bzw. Tabelle 15 (Regenbeek) entnommen werden.

Tabelle 14: Gemittelte Kriterienbewertung der Skalenkriterien für jede Maßnahme am Gewässer Vietzbach

Maßnahmen   Kriterien	Sicherung der Lebensgrundlage Ø	Gesundheitseffekte Ø	Berücksichtigung demografischer Wandel Ø	Biodiversität Ø	Potential zur Ressourcenschonung Ø	zusätzliche Landnutzung Ø
Uferbefestigung (künstlich) z.B. mit Bodenplatten	1,333	0,500	0,000	0,083	1,417	0,583
Uferbefestigung (natürlich) z.B. mit Gehölzen oder Störsteinen	2,083	1,000	0,000	2,917	2,417	1,417
Schaffung eines Gewässerrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselementen	3,250	1,750	0,083	4,167	2,750	2,917
Gewässerausbau	2,917	1,167	0,333	2,833	2,500	2,750
Landwirtschaftliche Maßnahme - Fruchtfolgegestaltung/Zwischenfrucht	3,083	1,750	0,333	1,917	2,417	0,750
Landwirtschaftliche Maßnahme - konservierende Bodenbearbeitung	2,917	1,167	0,333	1,917	2,917	0,750
Landwirtschaftliche Maßnahme - Hanggliederung	3,083	1,500	0,083	2,417	2,500	1,333

Tabelle 15: Gemittelte Kriterienbewertung der Skalenkriterien für jede Maßnahme am Gewässer Regenbeek

Maßnahmen   Kriterien	Sicherung der Lebensgrundlage Ø	Gesundheitseffekte Ø	Berücksichtigung demografischer Wandel Ø	Biodiversität Ø	Potential zur Ressourcenschonung Ø	zusätzliche Landnutzung Ø
Installation eines Regenrückhaltebeckens mit einem Volumen von ca. 4.400m³	3,538	1,769	0,308	1,692	3,077	3,308
Verringerung des Gefälles durch Anlegen von Mäandern	2,538	1,000	0,154	3,385	2,154	3,769
Verringerung der Fließgeschwindigkeit durch Anlegen von Kaskaden	1,923	0,615	0,077	1,769	1,615	1,154
Schaffung zusätzlicher Rückhalteräume im Kanalnetz	2,385	1,077	0,385	0,615	2,231	0,923
Entsiegelung von Flächen --> Versickerung auf Grundstücken	1,846	1,308	0,846	2,231	1,923	1,000
Speicherung / Rückhalt auf Grundstücken mittels Zisternen oder Regentonnen	2,077	1,000	0,846	1,154	2,462	0,308
Begrünung von Dachflächen	2,000	1,692	0,923	2,923	2,154	0,385
Umleitung des Regenwassers in die Wipper mithilfe eines Kanalrohres	2,385	0,385	0,231	0,308	1,538	0,923
Uferbefestigung (künstlich) z.B. mit Bodenplatten	1,231	0,385	0,000	0,308	1,538	0,538
Uferbefestigung (natürlich) z.B. mit Gehölzen oder Störsteinen	2,077	1,308	0,231	3,231	2,000	1,154
Schaffung eines Gewässerstrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselementen	2,154	1,615	0,231	3,692	2,308	2,615
Herstellung / Ausbau des Schlammfangs	2,769	1,077	0,000	0,538	1,846	1,846



#### 4.4.3 Aggregation und Auswertung der Planungsalternativen

Mithilfe der zuvor beschriebenen Erfassungen der Gewichtung der Zielgruppen und einzelnen Kriterien sowie der ausgeführten Mittelung der Einschätzung aller zwölf (Regenbeek) bzw. sieben (Vietzbach) Maßnahmen, konnte anschließend eine Bewertung mit Hilfe der Software PRIMATE durchgeführt werden. Anhand der Auswertung ergaben sich für die zwölf Maßnahmen am Regenbeek die in der Abbildung 20 dargestellten Eingangs- (F+) und Ausgangsflüsse (F-).

	Regenb	Mäände	Kaskad	Rückha	Entsiegl	Zisterne	Dachbe	Uml_Ka	Uferbe_	Uferbe_	Gewäss	Schlaml	F+
Regenb	0	0.534	0.450	0.488	0.416	0.488	0.416	0.522	0.522	0.450	0.450	0.522	5.264
Mäände	0.071	0	0.522	0.327	0.424	0.327	0.327	0.488	0.522	0.424	0.255	0.203	3.897
Kaskad	0.155	0.083	0	0.071	0.255	0.071	0	0.232	0.522	0	0.083	0.190	1.666
Rückha	0.118	0.278	0.534	0	0.436	0.319	0.353	0.266	0.522	0.471	0.374	0.287	3.962
Entsiegl	0.190	0.181	0.350	0.169	0	0.134	0	0.266	0.522	0.118	0.118	0.350	2.402
Zisterne	0.118	0.215	0.534	0.287	0.436	0	0.436	0.350	0.606	0.215	0.215	0.287	3.703
Dachbe	0.190	0.181	0.606	0.253	0.606	0.169	0	0.350	0.606	0.278	0.181	0.350	3.773
Uml_Ka	0.083	0.118	0.374	0	0.339	0.255	0.255	0	0.290	0.339	0.339	0.118	2.514
Uferbe_	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0	0	0.083	0	0.083	0.083	0.083	0.751
Uferbe_	0.155	0.181	0.522	0.134	0.424	0.134	0.327	0.232	0.522	0	0.083	0.350	3.070
Gewäss	0.155	0.350	0.522	0.232	0.488	0.390	0.424	0.232	0.522	0.488	0	0.266	4.074
Schlaml	0.083	0.402	0.416	0.255	0.255	0.319	0.255	0.488	0.488	0.255	0.339	0	3.560
F-	1.404	2.610	4.918	2.304	4.167	2.611	2.797	3.513	5.650	3.126	2.525	3.010	

Abbildung 20: Ergebnisdarstellung der Präferenzenmatritzen - Regenbeek (PRIMATE)

	Uferbef	Uferbef	Randstr	Gewäss	Fruchtfc	konserv	Hanggli	F+
Uferbef	0	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.068	0.408
Uferbef	0.556	0	0.068	0.155	0.087	0.087	0.087	1.041
Randstr	0.556	0.556	0	0.556	0.478	0.472	0.556	3.177
Gewäss	0.593	0.505	0.104	0	0.170	0.087	0.123	1.585
Fruchtfc	0.593	0.490	0.104	0.453	0	0.385	0.182	2.210
konserv	0.593	0.573	0.188	0.151	0.083	0	0.188	1.778
Hanggli	0.593	0.573	0.104	0.453	0.170	0.472	0	2.369
F-	3.485	2.768	0.638	1.838	1.058	1.574	1.206	0

Abbildung 21: Ergebnisdarstellung der Präferenzenmatritzen - Vietzbach (PRIMATE)

Aus der Abbildung 20 kann auf Basis der Eingangsflüsse (F+) somit folgende Rangfolge für die Maßnahmen am Regenbeek festgehalten werden:

Regenrückhaltebecken > Gewässerrandstreifen/Landschaftselemente > Rückhalteräume im Kanalnetz > Mäandrierung > Dachbegrünung > Zisternen > Schlammfang > Uferbefestigung natürlich > Umleitung mittels Kanalrohr > Entsiegelung von Flächen > Kaskaden > Uferbefestigung künstlich

Die Abbildung 21 hingegen beschreibt die auf Basis der Eingangsflüsse (F+) für den Vietzbach festgehaltene Rangfolgendarstellung:

Gewässerrandstreifen/Landschaftselemente > Hanggliederung > Fruchtfolgegestaltung > konservierende Bodenbearbeitung > Gewässerausbau > Uferbefestigung natürlich > Uferbefestigung künstlich

Auf der Basis der Ausgangsflüsse (F-) ergab sich folgende Rangfolge für die Maßnahmen am Regenbeek:

Regenrückhaltebecken < Rückhalteräume im Kanalnetz < Gewässerrandstreifen/ Landschaftselemente < Mäandrierung < Zisternen < Dachbegrünung < Schlammfang < Uferbefestigung natürlich < Umleitung mittels Kanalrohr < Entsiegelung von Flächen < Kaskaden < Uferbefestigung künstlich

Auf der Basis der Ausgangsflüsse (F-) ergab sich folgende Rangfolge für die Maßnahmen am Vietzbach:

Gewässerrandstreifen/Landschaftselemente < Fruchtfolgegestaltung < Hanggliederung < konservierende Bodenbearbeitung < Gewässerausbau < Uferbefestigung natürlich < Uferbefestigung künstlich

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse wurden die Nettoabflüsse der einzelnen Maßnahmen sowohl für den Regenbeek (Tabelle 16) als auch Vietzbach (Tabelle 18) dargestellt. Diese bestätigen die bereits ersichtlichen Vorzugslösungen für

- Regenbeek: Regenrückhaltebeckens
- Vietzbach: Anlegung eines Gewässerrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselementen

Die sich jeweils ergebende Rangfolgendarstellung von Platz 1 – 12 (Regenbeek) bzw. Platz 1 – Platz 7 (Vietzbach) können der Tabelle 17 und Tabelle 19 entnommen werden.

Tabelle 16: Nettoflussberechnung und Rangfolgenderstellung der Maßnahmen am Regenbeek

Maßnahmen	Regenrückhaltebecken	Mäander	Kaskaden	RR Kanalnetz	Versickerung	Zisternen/ Regentonnen	Dachbegrünung	Umleitung Kanalrohr	Uferbefestigung künstlich	Uferbefestigung natürlich	Gewässerrandstreifen/ Landschaftselemente	Schlammfang
Eingangsfloss (F+)	5,264	3,897	1,666	3,962	2,402	3,703	3,773	2,514	0,751	3,070	4,074	3,560
Ausgangsfloss (F-)	1,404	2,610	4,918	2,304	4,167	2,611	2,797	3,513	5,65	3,126	2,525	3,010
Nettofluss	3,86	1,287	-3,252	1,658	-1,765	1,092	0,976	-0,999	-4,899	-0,056	1,549	0,550
<b>Rang</b>	<b>I</b>	<b>IV</b>	<b>XI</b>	<b>II</b>	<b>X</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>IX</b>	<b>XII</b>	<b>VIII</b>	<b>III</b>	<b>VII</b>
<b>Rang</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>7</b>

Tabelle 17: Ergebnisdarstellung der Rangfolge aller Maßnahmen (Regenbeek)

Rang	Maßnahme
1	Installation eines Regenrückhaltebeckens mit einem Volumen von ca. 4.400m <sup>3</sup>
2	Schaffung zusätzlicher Rückhalteräume im Kanalnetz
3	Schaffung eines Gewässerrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselemente
4	Verringerung des Gefälles durch Anlegen von Mäandern
5	Speicherung / Rückhalt auf Grundstücken mittels Zisternen oder Regentonnen
6	Begrünung von Dachflächen
7	Herstellung/ Ausbau des Schlammfangs
8	Uferbefestigung (natürlich) z.B. mit Gehölzen oder Störsteinen
9	Umleitung des Regenwassers in die Wipper mithilfe eines Kanalrohres
10	Entsiegelung von Flächen --> Versickerung auf Grundstücken
11	Verringerung der Fließgeschwindigkeit durch Anlegen von Kaskaden
12	Uferbefestigung (künstlich) z.B. mit Bodenplatten

Tabelle 18: Nettoflussberechnung und Rangfolgenderstellung der Maßnahmen am Vietzbach

Maßnahmen	Uferbefestigung (künstlich) z.B. mit Bodenplatten	Uferbefestigung (natürlich) z.B. mit Gehölzen oder Störsteinen	Schaffung eines Gewässerrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselementen	Gewässerausbau	Landwirtschaftliche Maßnahme - Fruchtfolgegestaltung	Landwirtschaftliche Maßnahme - konservierende Bodenbearbeitung	Landwirtschaftliche Maßnahme - Hanggliederung
Eingangsfluss (F+)	0,408	1,041	3,177	1,585	2,210	1,778	2,369
Ausgangsfluss (F-)	3,485	2,769	0,638	1,838	1,058	1,574	1,206
Nettofluss	-3,077	-1,728	2,539	-0,253	1,152	0,204	1,163
<b>Rang</b>	<b>VII</b>	<b>VI</b>	<b>I</b>	<b>V</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>II</b>
<b>Rang</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>

Tabelle 19: Ergebnisdarstellung der Rangfolge alle Maßnahmen (Vietzbach)

Rang	Maßnahme
1	Schaffung eines Gewässerrandstreifens/ Schaffung von Landschaftselemente
2	Landschaftliche Maßnahme - Hanggliederung
3	Landschaftliche Maßnahme - Fruchtfolgegestaltung/ Zwischenfrucht
4	Landschaftliche Maßnahme - konservierende Bodenbearbeitung
5	Gewässerausbau
6	Uferbefestigung (natürlich) z.B. mit Gehölzen oder Störsteinen
7	Uferbefestigung (künstlich) z.B. mit Bodenplatten

Um die Verlässlichkeit der Rangfolge zu überprüfen, wurde zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Hierfür wurde eine Funktion der Software PRIMATE genutzt, welche jeweils nacheinander die vorhandenen Zielgruppen auf null setzt und die jeweils anderen normalisiert. Im Ergebnis bestätigte diese Vorgehensweise die jeweiligen Vorzugslösungen der Gewässer Regenbeek und Vietzbach mit dem Rangplatz eins. Die Rangfolge der nachfolgenden Plätze zwei bis zwölf (Regenbeek) bzw. zwei bis sieben (Vietzbach) variierte hingegen mitunter. Eine Auswahl ergänzender bzw. kombinierter Maßnahmen sollte entsprechend einer erneuten Gewichtungsüberprüfung sowie gegebenenfalls einer Kriterienanpassung getroffen werden.

#### **4.4.4 Zusammenfassung der Entscheidungsunterstützungsergebnisse**

Wie im Kapitel 3.3 beschrieben, kann eine Bewertung von verschiedenen Klimaanpassungsmaßnahmen bzw. Planungsalternativen mittels eines Entscheidungsunterstützungsverfahrens als ergänzende Variante zur Priorisierung einer Vorzugsmaßnahme genutzt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung am Gewässer Regenbeek und Vietzbach dienen somit einer Überprüfung der, in verschiedenen Workshops, bilateralen- sowie Werkstattgesprächen vorab diskutierten und am Ende von allen beteiligten Akteur\*innen abgestimmten, Vorzugslösung. Als transparentes und wissenschaftlich fundiertes Entscheidungsunterstützungsverfahren wurde hierzu der PROMETHEE Ansatz gewählt. Zur Berechnungsunterstützung sowie Auswertung wurde die Software PRIMATE verwendet.

Um die benötigte Datengrundlage für eine solche Auswertung zu erhalten und eine Vergleichbarkeit der Maßnahmen untereinander zu gewährleisten, wurde zusammen mit Akteur\*innen des BebeR-Vorhabens, die Auswahl von drei zu erfüllenden Zielvorgaben sowie jeweils drei diesen untergeordneten Kriterien definiert. Da es sich bei der Auswahl und Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen um einen individuellen Prozess handelt, können regionale sowie lokale Gegebenheiten einen prägenden Einfluss auf die Auswahl von Kriterien bzw. zu erreichenden Zielen haben. Zur Übertragbarkeit des gewählten Ansatzes wurden dieser Untersuchung allgemeingültige Bewertungsfaktoren bzw. -kriterien zu Grunde gelegt. Ein anonymisiert auszufüllendes PDF-Dokument diente als Bewertungsbogen.

Zur gleichberechtigten Abgabe der Einzelbewertungen aller Akteur\*innen aus unterschiedlichsten Arbeitsbereichen und Institutionen, wurde eine Einteilung in Gruppen vorgenommen. Hierzu entstanden aus einem ursprünglich angedachten dreigeteilten Gruppierungsansatz (Praxis, Verwaltung und Wissenschaft) die Vergleichsgruppen Verwaltung/Praxis sowie die Gruppe Wissenschaft. Die Zusammenlegung der Gruppen Praxis und Verwaltung wurde aufgrund der Rücklaufquote und einer damit einhergehenden möglichst hohen Gleichverteilung aller Einzelbewertungen notwendig. Anschließend erfolgte eine Mittelung aller Gewichtungsangaben je Gruppenzugehörigkeit. Weiterhin wurden die Skalenbewertungen aller Kriterien für jede Maßnahme ebenfalls gemittelt. Die gesammelten Daten dienen somit als Datengrundlage für die Auswertung mittels der Software PRIMATE.

Durch eine Berechnung der Eingangs-(F+) sowie Ausgangsflüsse (F-) aller Planungsvorhaben konnten die Rangfolgen für beide Parameter bestimmt werden. Dies geschah unabhängig voneinander für beide Untersuchungsgebiete Regenbeek und Vietzbach. Als Vorzugslösung für den Regenbeek erwies sich hierbei die Maßnahme zur Errichtung eines Regenrückhaltebeckens. Für den Vietzbach stellte die Maßnahme zur Schaffung eines Gewässerrandstreifens/der Schaffung von Landschaftselementen die hieraus abzulesende Vorzugsmaßnahme dar.

Im Anschluss daran konnten durch eine Bestimmung der jeweiligen Nettoflüsse die Rangfolgen für beide Untersuchungsgebiete überprüft werden. Auch hier ergaben die Auswertungen den ersten Platz der Rangfolgenverteilung für die Maßnahme zur Errichtung eines Regenrückhaltebeckens beim Regenbeek bzw. die Schaffung eines Gewässerrandstreifens/der Schaffung von Landschaftselementen beim Vietzbach.

Um die Verlässlichkeit der Rangfolge weiter zu überprüfen, wurde mittels PRIMATE eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Es bestätigte sich erneut die Platzierung der Maßnahme zur Errichtung eines Regenrückhaltebeckens mit dem Rangfolgenplatz Eins beim Regenbeek. Auch beim Vietzbach fand keine Änderung der Vorzugslösung statt, sodass weiterhin die Klimaanpassungsmaßnahme zur Schaffung eines Gewässerrandstreifens/ der Schaffung von Landschaftselementen den Rangplatz Eins belegte. Nachfolgende Rangplätze sowohl bei der Untersuchung am Regenbeek sowie auch am Vietzbach, variierten hingegen mitunter minimal.

Die im Ergebnis vorliegenden Rangfolgen der zwölf (Regenbeek) bzw. sieben (Vietzbach) gegenübergestellten Maßnahmen zeigten somit, dass insbesondere die Maßnahme "Errichtung eines Regenrückhaltebeckens" auf Grundlage der gewählten Kriterien eine geeignete Handlungsoption für den Regenbeek sowie die Maßnahme „Schaffung eines Gewässerrandstreifens/Schaffung von Landschaftselementen“ für den Vietzbach aufzeigt. Eine Ergänzung bzw. Kombination durch Maßnahmen der nachfolgenden Rangplätze sollte jedoch weiterhin in Betracht gezogen werden.

Weiterhin kann etwas verallgemeinert festgehalten werden, dass Kommunen, auch bei Entscheidungsfindungen unter einer erhöhten Unsicherheit sowie begrenzt zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln, mithilfe des PROMETHEE Verfahrens und der Softwareunterstützung durch PRIMATE, vorteilhafte Klimaanpassungsmaßnahmen identifizieren können.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die beobachteten Tendenzen und die modellbasierten Projektionen zum Klimawandel zeigen einen deutlichen mittel- bis langfristigen Handlungsbedarf in zahlreichen gesellschaftlichen Bereichen. Dabei stehen die Auswirkungen sich verändernder natürlicher Bedingungen und insbesondere die Anpassung an diese im Fokus. Beginnend mit dem Jahr 2011 wurden in der Modellregion Südharz Vorläuferprojekte im Sinne einer inter- und transdisziplinären Forschung durchgeführt. In der ersten Phase „Klimpass“ wurden folgende Handlungsfelder (HF) für die Erarbeitung lokaler Anpassungsstrategien identifiziert: HF Anpassungskonzept; HF Bodenerosion; HF Gefahrenabwehr; HF Gewässerunterhaltung; HF Neophyten; HF Öffentlichkeitsarbeit; HF Stadt- & Regionalplanung; HF Waldanpassung; HF Vernässung; HF Wasserver- & Abwasserentsorgung. Diese 1. Phase wurde vom Land Sachsen-Anhalt gefördert.

In der 2. Phase „Klimpass-Aktiv“, die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) im Rahmen eines Förderprogramm zur Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) gefördert wurde, war die Weiterentwicklung, Umsetzung und Evaluation von konkreten Anpassungsmaßnahmen das Ziel. Das Projekt "BebeR", das von 2017 bis 2020 andauerte und ebenfalls vom BMU im Zuge der DAS gefördert wurde, befasste sich in dieser Phase mit konkreten Maßnahmen zur Minderung der Bodenerosion. Dieses Vorhaben vertieft auch die bereits beschriebenen Arbeiten des HF Gewässerunterhaltung. Ziel des Projektes war es nun zu demonstrieren, wie ein Planungs- und Abwägungsprozess zur Minderung der Bodenerosion mit Berücksichtigung des Klimawandels und unter Einbeziehung unterschiedlicher Akteur\*innengruppen (Kommune, Bevölkerung, Landwirtschaft, Naturschutz) im vorrangig ländlichen Raum einer bergigen Region erfolgen kann. Für zwei Modelleinzugsgebiete (Regenbeek und Vietzbach) im Landkreis Mansfeld-Südharz wurden hier die Prozesse der flächenhaften Erosion und der linienhaften Gewässerbetterosion beispielhaft behandelt und geeignete Werkzeuge für eine Nutzer\*innenorientierte interdisziplinäre Planung im kommunalen Bereich entwickelt und implementiert.

Die neu geschaffenen Modellwerkzeuge umfassen zwei Modelle zur Ermittlung der flächenhaften Bodenerosion (ero-SMINF und ABAGis), die sequentiell angewendet werden, um den Aufwand zur Identifikation der Erosion zu minimieren. Dabei bestimmt ero-SMINF qualitativ, ob potenziell Erosion stattfindet oder nicht (Erosivität) und ABAGis quantifiziert den Bodenabtrag anschließend, sofern erforderlich. Des Weiteren dient das Bachbetterosionsmodell (BEM) der Quantifizierung der Bachbetterosion für



verschiedene Szenarien. Für alle Modellwerkzeuge wurden Schulungsmaterialien anhand von konkreten Beispielen angefertigt und eine Datenbank von Standardstandortparametern und Daten zum prognostizierten Klimawandel angelegt, so dass eine Einarbeitung auch für Nichtspezialisten möglich ist. Die benutzte Software sind ausschließlich kostenfreie Shareware bzw. frei verfügbare Programme, welche zusammen mit Schulungsmaterial und einer Datenbank von der Projekt-Homepage ([www.Klimpass.de](http://www.Klimpass.de)) heruntergeladen werden können.

Eine wichtige Voraussetzung zur Implementierung der Werkzeuge bei den lokalen Planer\*innen ist die inter- und transdisziplinäre Zusammenarbeit, welche die Grundlage für nachhaltige Implementierungen liefert. Dabei wurde insbesondere die Living-Lab-Idee als Kooperationsansatz angewendet, bei dem Nutzer\*innen und Beteiligte in einer realweltlichen Umgebung in den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft, öffentliche und private Organisationen gemeinsam Forschung und Entwicklung betreiben und so jeweils eine aktive Rolle innerhalb des Innovationsprozesses übernehmen. In diesem Zusammenhang wurden zur Steigerung der Akzeptanz zu treffender Entscheidungen bezüglich der Auswahl von Klimaanpassungsmaßnahmen Entscheidungsunterstützungsverfahren angewandt. Diese Verfahren helfen, insbesondere bei der Quantifizierung möglicher Einzelmaßnahmen oder einer Kombination von mehreren zum Teil aufeinander abgestimmten Maßnahmen und ermöglichen Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen.

Die Ergebnisse der Erosionssimulationen zeigen für die beiden Beispielgebiete zunächst die saisonalen IST-Zustände anhand realer Daten der letzten anderthalb Jahrzehnte und leiten die Erosivitäten daraus ab. Damit entsteht ein Bild der Flächen, für die ein Handlungsbedarf besteht. Ebenso geschieht dies mit dem Vorgang der Bachbetterosion. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der Untersuchungen an den beiden Beispielgebieten, dass die erstellten Erosionswerkzeuge in der Lage sind, die Vulnerabilität in Bezug auf die flächenhafte und bachbettbezogene Erosion darzustellen. Daraus werden konkrete Maßnahmen zur Erosionsminderung abgeleitet.

Zur Überprüfung, ob diese Maßnahmen auch in Zukunft, insbesondere in Hinblick auf den Klimawandel wirksam sind, werden die Ergebnisse der Simulationen mit projizierten Daten zum Klimawandel aufgezeigt. Hier wird in die zwei Zeiträume „Nahe Zukunft“ und „Ferne Zukunft“ unterteilt, wobei sowohl die SRES- als auch die RCP-Szenarien des International Panel of Climate Change (IPCC) untersucht worden sind. Alle Ergebnisse wurden in ein interaktives, webbasiertes Kartensystem überführt, welches die

Ergebnisse visualisiert und entscheidungsunterstützend verwendet. Damit eine transparente und für alle Akteur\*innen nachvollziehbare Grundlage für Diskussionen und letztendlich Maßnahmenplanungen bereitgestellt wird, welche bei allen Beteiligten Akzeptanz finden kann. Allen Akteur\*innen soll es damit möglich gemacht werden, auf Geobasisdaten und -fachdaten verschiedener Sektoren zuzugreifen und diese ggf. zu kombinieren. Mithilfe des webbasierten Geodienstes ist es möglich, die Ansätze inter- und transdisziplinärer Zusammenarbeit effektiv zu unterstützen indem die Beziehungen zwischen vorher oftmals nur sektoral bearbeiteten Themen deutlich werden.

Neben dem Kartensystem wurde auf [www.klimpass.de](http://www.klimpass.de) ein interaktives Forum zur Verfügung gestellt, das es sowohl den Fachexperten\*innen aus der Verwaltung, als auch Wissenschaftler\*innen und Bürger\*innen ermöglicht, sich aktiv am Entwicklungsprozess von Anpassungsmaßnahmen zu beteiligen. Gerade letzteres ist wichtig, um Akzeptanz für zu ergreifende Maßnahmen in der Bevölkerung zu erreichen, was nur durch Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidungen möglich ist. Dazu dient auch eine Bewertung von verschiedenen Klimaanpassungsmaßnahmen bzw. Planungsalternativen mittels eines Entscheidungsunterstützungsverfahrens als ergänzende Variante zur Priorisierung einer Vorzugsmaßnahme. Die Ergebnisse dieser Untersuchung in beiden Beispielsgebieten dienen somit einer Überprüfung der in verschiedenen Workshops, bilateralen- sowie Werkstattgesprächen vorab diskutierten und am Ende von allen beteiligten Akteur\*innen abgestimmten Vorzugslösungen. Als transparentes und wissenschaftlich fundiertes Entscheidungsunterstützungsverfahren wurde hierzu der PROMETHEE Ansatz gewählt. Zur Berechnungsunterstützung sowie Auswertung wurde die Software PRIMATE verwendet.

Basierend auf den finalen Ergebnissen zum Projektabschluss kann eine zeitnahe Umsetzung der gemeinschaftlich abgestimmten sowie durch den multikriteriellen Bewertungsansatz zusätzlich überprüften Maßnahmevorschlägen erfolgen. Die Ergebnisse dieses Projektes werden sowohl in Form der Bereitstellung entwickelter Tools als auch der Weitergabe relevanter Handlungsempfehlungen und weiterer Ausarbeitungen publiziert. Die Weiterreichung der gesammelten Erfahrungen für andere Vorhaben, insbesondere in einer Region mit ähnlichen topografischen Voraussetzungen, stellt einen festen Bestandteil dieses, im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel geförderten, Leuchtturmprojektes dar.

## 6 Literaturverzeichnis

- Apostel, L., Berger, G., Briggs, A., Michaud, G. (1972): Interdisciplinary Problems of Teaching and Research in Universities. Organisation of Economic Co-operation and Development, Centre for Educational Research and Innovation, Paris 1972.
- BMVBS (Hrsg.) (2013): Bewertung und Priorisierung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung bei der urbanen Klimaanpassung. BMVBS-Online-Publikation 11/2013; URL: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmvbs/bmvbs-online/2013/ON112013.html?nn=388868> [Letzter Zugriff: 27.07.2020].
- Braun, A. (Hrsg.) (2007): Belleben unter Schlammmassen. Mitteldeutsche Zeitung, Herausgegeben am 18.06.2007, URL: <http://www.mz-web.de/bernburg/belleben-unter-schlammmassen-9250070> [Letzter Zugriff: 27.06.2020].
- BRKS (2020): Kurzfassung Rahmenkonzept; URL: <https://www.bioreskarstsuedharz.de/index.php?das-biosphaerenreservat> [Letzter Zugriff: 27.06.2020].
- Bundesregierung (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen.
- Bundesregierung (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel.
- Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, 16. November 2015.
- Cronin, K. (2008): Transdisciplinary Research (TDR) and Sustainability. Integrative Research for Sustainability Group Environmental Science and Research (ESR) Ltd, Neuseeland; URL: [https://www.learningforsustainability.net/pubs/Transdisciplinary\\_Research\\_and\\_Sustainability.pdf](https://www.learningforsustainability.net/pubs/Transdisciplinary_Research_and_Sustainability.pdf) [Letzter Zugriff: 11.08.2020].
- Deumelandt, P., Kasimir, M., Steininger, M., Wurbs, D. (2014): Beratungsleitfaden Bodenerosion und Sturzfluten: lokale Kooperation zwischen Landwirten und Gemeinden sowie weiteren Akteuren zur Vermeidung von Bodenerosion, Hrsg.: Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, Magdeburg.
- DIN 19708:2017-08: Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- Drechsler, M. (o. J.): PRIMATE – an interactive software for Probabilistic Multi-Attribute Evaluation; URL: [https://www.ufz.de/export/data/2/82270\\_Primate\\_Manual.doc](https://www.ufz.de/export/data/2/82270_Primate_Manual.doc) [Letzter Zugriff: 28.01.2020].

- ECSA (2015). Zehn Prinzipien von Citizen Science – Bürgerwissenschaften  
 URL: [https://ecsa.citizen-science.net/sites/default/files/ecsa\\_ten\\_principles\\_of\\_cs\\_german.pdf](https://ecsa.citizen-science.net/sites/default/files/ecsa_ten_principles_of_cs_german.pdf) [Letzter Zugriff: 21.05.2020].
- ENoll 2005: European Network of Living Labs. URL: <https://enoll.org/> [Letzter Zugriff: 06.07.2020].
- Geldermann, J., Lerche, N. (2014): Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung – Methode: PROMETHEE; URL: <https://www.nemo-ruhr.de/wp-content/uploads/2018/03/mcda-leitfaden-promethee.pdf> [Letzter Zugriff: 29.01.2020].
- Goodchild, M.F. (2007): Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. In: *GeoJournal*, Vol. 69, Issue 4, pp 211 – 221.
- Granger Morgan, M., Dowlatabadi, H., Henrion, M. Keith, D., Lempert, R. McBride, S., Small, M., Wilbanks, T. (2009): Sources and Types of Uncertainty. In: US Climate Change Science Program, Synthesis and Assessment Product 5.2 – Best Practice Approaches for Characterizing, Communicating, and Incorporating Scientific Uncertainty in Climate Decision Making, pp 31 – 43.
- Green, W.A., Ampt, G.A. (1911): Studies on soil physics I. The flow of air and water through soils. - *Journal of Agriculture. Sci.* 4: pp 1 – 24.
- Harth, M. (2006): Multikriterielle Bewertungsverfahren als Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Landnutzungsplanung – unter besonderer Berücksichtigung der Adaptiven Conjoint-Analyse und der Discrete Choice Experiments; URL: <http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/06/06H106/prom.pdf> [Letzter Zugriff: 29.01.2020].
- Helbig, H. (2012): Überschwemmungen und Bodenerosion in Riestedt (Mansfeld-Südharz) August/September 2011. 10.13140/RG.2.2.30423.88486.
- Henning, M., Pietsch, M., Kim, D.Y. (2017): Daten erheben und Bürger beteiligen: Von Crowdsourcing bis E-Partizipation – ein Überblick. In: Bade, K., Pietsch, M., Raabe, S., Schütz, L. (Hrsg.): *Technologische Trends im Spannungsfeld von Beteiligung – Entscheidung – Planung*, Shaker Verlag, Aachen, S. 61 – 68.
- Hoffmans, G.J.C.M. & Verheij, H.J. (1997): *Scour Manual*. Rotterdam, Netherlands: A.A.Balkema.
- IPCC, 2013/2014: *Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger*. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstands-

- bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2016.
- Klimpass, 2019: Projektwebseite des im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel geförderten Projektes „Bodenerosionsminderung in bergigen Regionen am Beispiel des Landkreis Mansfeld-Südharz“, FKZ: 03DAS097A & 03DAS097B, URL: <https://Klimpass.de> [Letzter Zugriff: 11.06.2019].
- Knoop, C. (2014): Forschungsbericht an der Hochschule Harz: Ökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Klimaanpassung, unveröffentlicht.
- Kreienkamp, F.; Spekat, A.; Enke, W. (2012): 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 Auftrage des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt unter fachlicher Begleitung des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle (Saale).
- Lipski, A., Hachmann, R. (2015): Interaktive Beteiligung – aktueller, technischer Status Quo & Visionen. Evaluatin Landschaftsplan Königslutter-El. IP Syscon GmbH & Leibniz-Universität Hannover. [https://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/Forschungsprojekte/ILP\\_Publikation\\_Lipski\\_Hachmann\\_neu.pdf](https://www.umwelt.uni-hannover.de/fileadmin/institut/Forschungsprojekte/ILP_Publikation_Lipski_Hachmann_neu.pdf) [Letzter Zugriff: 11.08.2020].
- LivLab (2019): URL: <https://www.innolab-livinglabs.de/de/living-labs-landkarte.html> [Letzter Zugriff: 15.06.2020].
- LSA (2018): Land Sachsen-Anhalt: Strategie des Landes zur Anpassung an den Klimawandel - Fortschreibung Februar 2019; URL: [https://mule.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MLU/MLU/04\\_Energie/Klimawandel/00\\_Startseite\\_Klimawandel/190403\\_Anpassungsstrategie\\_Klimawandel\\_barrierefrei\\_.pdf](https://mule.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/MLU/04_Energie/Klimawandel/00_Startseite_Klimawandel/190403_Anpassungsstrategie_Klimawandel_barrierefrei_.pdf) [Letzter Zugriff: 28.07.2020].
- Malmberg, K., Vaittinen, I. (Ed.) (2017): Living Lab Methodology Handbook, URL: [https://u4iot.eu/pdf/U4IoT\\_LivingLabMethodology\\_Handbook.pdf](https://u4iot.eu/pdf/U4IoT_LivingLabMethodology_Handbook.pdf) [Letzter Zugriff: 15.06.2020].
- März, S.; Bierwirth, A. (2016): Transitionsforschung – Ein praxisorientierter Überblick. In: Holstenkamp, L., Radke, J. (Ed.): Energiewende und Partizipation. Transformationen von Gesellschaft und Technik, Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 57 – 71.

- Manning, R. (1891): On the flow of water in open channels and pipes. Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland. 20: pp 161 – 207.
- Peschke, G., Kutílek, M. (1982): Infiltration model in simulated hydrographs. In: Journal of Hydrology, Volume 56, Issue 3, S. 369 – 379.
- Pohl, C. (2011): What is progress in transdisciplinary research? In: Futures, Volume 43, Issue 6, pp 618 – 626.
- Pundt, H. (2017): Integration of Context Information to Support Spatial Decision Systems. International Journal on Computer Science and Information Systems Vol. 12, No. 2, pp 50 – 64. ISSN: 1646-3692.
- Pundt, H. (2020): Spatial Decision Systems. In: Leal Filho, W., Azeiteiro, U., Azul, A.M., Brandli, L., Özuyar, P.G., Wall, T.: Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals, Volume on Climate Action (accepted, to appear 2020).
- Pundt, H., Heilmann, A. (2020): Building Collaborative Partnerships: An Example of a 3rd Mission Activity in the Field of Local Climate Change Adaptation. In: Leal, W.F., Alves, F., Azeiteiro, U., Manolas, E.: Universities as Living Labs for Sustainable Development. Supporting the Implementation of the Sustainable Development Goals: Vol. II., Springer Nature Switzerland, Cham., pp 621 – 636.
- Rückert-John, J., John, R., Jaeger-Erben, M., Wiatr, M., Vohland, K., Ziegler, D., Göbel, C., Talmon-Gros, L., Teichler, T., Bach, N., v. Blanckenburg, C., Diemel, H.-L. (2017): Konzept zur Anwendbarkeit von Citizen Science in der Ressortforschung des Umweltbundesamtes. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Umweltbundesamt, Texte 49/2017.
- Schulte, R. (2018): Entwicklung und Erprobung eines ganzheitlichen Bewertungsmodells für transdisziplinäre Forschungsprojekte; Masterarbeit an der Hochschule Harz; 2018.
- Schwertmann, U. & Vogl, W. & Kainz, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Ulmer-Verlag, Stuttgart.
- Serrao-Neumann, S., Choy D.L. (2018): Uncertainty and Future Planning: The Use of Scenario Planning for Climate Change Adaptation Planning and Decision. In: Serrao-Neumann, S., Coudrain, A., Coulter, L., Communicating Climate Change Information for Decision Making. Springer Climate Series, pp 79 – 90.

- Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2018): Daten & Fakten – Bodennutzung und Ernte. URL: [https://www.stala.sachsen-anhalt.de/Internet/Home/Daten\\_und\\_Fakten/4/41/412/index.html](https://www.stala.sachsen-anhalt.de/Internet/Home/Daten_und_Fakten/4/41/412/index.html) [Letzter Zugriff: 23.04.2018].
- Strickler, A. (1923): Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen. In: Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft: Nr. 16. Bern, S. 357.
- Tatenbank (2019): Tatenbank des Umweltbundesamtes, URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank> [Letzter Zugriff: 28.07.2020].
- Tellez-Arenas, A., Quique, R., Boulahya, F., Le Cozannet, G., Paris, F., Le Roy, S., Dupros, F., Robida, F. (2018): Scalable Interactive Platform for Geographic Evaluation of Sea-level Rise Impact Combining High-Performance Computing and WebGIS Client. In: Serrao-Neumann, S., Coudrain, A., Coulter, L., Communicating Climate Change Information for Decision Making. Springer Climate Series, pp 163 – 175.
- UBA (2015): Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassungsstrategie der Bundesregierung“, Hrsg.: Umweltbundesamt (UBA), Februar 2015.
- UNFCCC (2017): <https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/the-big-picture/what-do-adaptation-to-climate-change-and-climate-resilience-mean>, [letzter Zugriff: 19.08.2020].
- Wischmeier, W.H. & D.D. Smith (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. 58pp.
- Zanke, U. (1982): Grundlagen der Sedimentbewegung. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) fördert im Rahmen der „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)“ verschiedene Maßnahmen in Form von Leuchtturmprojekten, die regionale und überregionale Beispielfunktionen erfüllen sollen.

Im Rahmen dieses Förderprogramms wurden im Landkreis Mansfeld-Südharz (Sachsen-Anhalt) zwei Projekte durchgeführt. Das diesem Beitrag zugrundeliegende Projekt „Bodenerosionsminderung in bergigen Regionen am Beispiel des Landkreis Mansfeld-Südharz (BebeR)“ schließt dazu gezielt an Vorläuferprojekte, wie Klimpass, gefördert vom Land Sachsen-Anhalt, und Klimpass-Aktiv an. Diese beiden Vorläuferprojekte, in welchen die Erstellung eines Klimaanpassungskonzeptes für die Region sowie die Erarbeitung und Umsetzung verschiedener Klimaanpassungsmaßnahmen umgesetzt wurden, führten u.a. zu dem Ergebnis, dass ein vordringliches Problem in dieser hügelig-bergigen Region des Südharzes in der Bodenerosion mit fluviatilen Abträgen bis hin zu Hangrutschungen besteht.