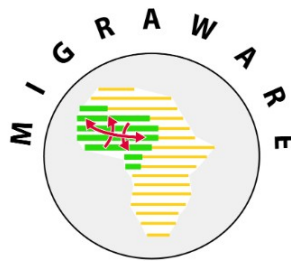




Kurzbericht (Teil I) der PiSolution GmbH

Rural-urban and cross-border migration in West-Africa – an integrated assessment framework of drivers, processes and sustainable responses (MIGRAWARE)



Projekttitel	WASCAL WRAP 2.0 - Verbundprojekt: MIGRAWARE - Ländlich-urbane und grenzüberschreitende MIGRATION in West-Afrika - ein integrierter Bewertungsrahmen für Treiber, Prozesse und nachhaltige Lösungen (REsponses) - Teilprojekt 1: Koordination und Management, Modellierung & Erkundung von Vegetationsänderungen
Förderkennzeichen	01LG2082A
Zuwendungsempfänger	PiSolution GmbH (PiSolution GmbH)
Koordination	PiSolution GmbH (PiSolution GmbH)
Teilprojektleiterin 01LG2082A	Frank Pietzsch (PiSolution GmbH)
Laufzeit des Projektes	01.06.2021 – 31.12.2024 (Kostenneutrale Verlängerung: 01.06.2024 – 31.12.2024)

Berichterstattende

Frank Pietzsch
PiSolution GmbH
An der Hart 6
04416 Markkleeberg

Markkleeberg, 20.06.2025

1. Inhaltsverzeichnis

I Kurzbericht.....	4
1. Aufgabenstellung.....	4
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	6
3. Planung und Ablauf des Vorhabens.....	8
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	10
4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	10
4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.....	10
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	11
6. Referenzen.....	11

I Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Westafrika ist besonders von den Folgen des Klimawandels betroffen. Dürren, unregelmäßige Niederschläge, Bodendegradation, Wüstenbildung und häufigere Extremwetterereignisse wie Überschwemmungen wirken sich direkt auf die landwirtschaftliche Produktion und die Wasserverfügbarkeit aus (IPCC, 2022). Dies bedroht die Lebensgrundlage der überwiegend von Subsistenzwirtschaft abhängigen Bevölkerung und schwächt ihre langfristige Widerstandsfähigkeit. Schätzungen zufolge könnten bis 2050 bis zu 32 Millionen Menschen in Westafrika aufgrund klimabedingter Veränderungen innerhalb ihrer Länder gezwungen sein, ihre Heimat zu verlassen (Rigaud et al., 2021). Besonders betroffen sind Nigeria und Burkina Faso, wo sowohl Binnenmigration als auch grenzüberschreitende Migration zu beobachten ist (Francis, 2019). An der stark urbanisierten westafrikanischen Küste sind bis zu 2,2 Millionen Menschen vom steigenden Meeresspiegel betroffen. Obwohl Migration unter bestimmten Bedingungen als Anpassungsstrategie an den Klimawandel und Umweltwandel angesehen werden kann (Bosetti et al., 2018), ist das Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen Umwelt, Gesellschaft, politischen Rahmenbedingungen und individuellen Entscheidungen bislang begrenzt. Dies gilt insbesondere für Fragen zu Migrationsrouten, Zwischenstationen, der Rolle ländlicher Gebiete als Empfängergebiete, dem Wachstum informeller Siedlungen sowie Rückkehr und Weiterwanderung. Eine weitere besondere Herausforderung stellt der Mangel an zuverlässigen und zugänglichen Daten sowie an lokalem Wissen dar. Dies erschwert die Entwicklung wirksamer Governance-Instrumente. Zudem sind die Wechselwirkungen zwischen Landnutzung, Umweltverschmutzung, Klimawandel, informellen Unterstützungssystemen und soziokulturellen Dynamiken unzureichend erforscht. Gleichzeitig bietet die weit verbreitete Nutzung mobiler Geräte in der Region ein bisher ungenutztes Potenzial für partizipative Erhebungsmethoden.

Vor diesem Hintergrund startete das Projekt MIGRAWARE Mitte 2021 mit dem Ziel, einen wissenschaftlichen und technologischen Rahmen für die Analyse der Ursachen, Prozesse und Treiber grenzüberschreitender und städtisch-ländlicher Migration in Westafrika zu entwickeln, mit Schwerpunkt auf Burkina Faso, Nigeria und Ghana.

Die Daten und Erkenntnisse können für ein angepasstes Management und eine bessere Steuerung der Migration in Westafrika genutzt werden. Es wurden partizipative sowie georäumliche Daten, Modelle und Methoden verwendet und Teilnehmer aus Wissenschaft, Politik und Praxis einbezogen, was MIGRAWARE hochgradig inter- und transdisziplinär machte. Frühere Forschungen, beispielsweise von Barrios et al. (2006), Parnell & Walawege (2011) und Seto et al. (2011), konzentrierten sich auf Umweltfaktoren und Migrationsdynamiken in Afrika. Aktuelle Studien, auch unserer Projektpartner, kombinieren zunehmend moderne Methoden der Fernerkundung (z. B. Taubenböck et al., 2018), Geoanalysen, sozioökologische Ansätze und partizipative Methoden. In der westafrikanischen Region werden Methoden der Fernerkundung insbesondere eingesetzt, um Stadtentwicklungs- und Migrationstrends sichtbar zu machen (Kleemann et al., 2017; Bharti et al., 2015).

Das Projekt MIGRAWARE zielt darauf ab, das Westafrikanische Wissenschaftszentrum für Klimawandel und angepasste Landnutzung (WASCAL) durch innovative Produkte und Lösungen dabei zu unterstützen, aktuelle Daten besser zu verarbeiten, bestehende Governance-Instrumente zu analysieren und neue lokale, nationale und zwischenstaatliche Maßnahmen vorzuschlagen. Ziel war es, Handlungsempfehlungen zu entwickeln, die die Interaktion zwischen Menschen, Umwelt und Institutionen stärken, die lokalen Lebensgrundlagen verbessern und den Migrationsdruck verringern. Um Governance-Instrumente besser an lokale, nationale und zwischenstaatliche Anforderungen anpassen zu können, sollten zudem typische Migrationsrouten, beispielsweise vom ländlichen Raum in städtische Zentren oder über Grenzen hinweg, identifiziert werden.

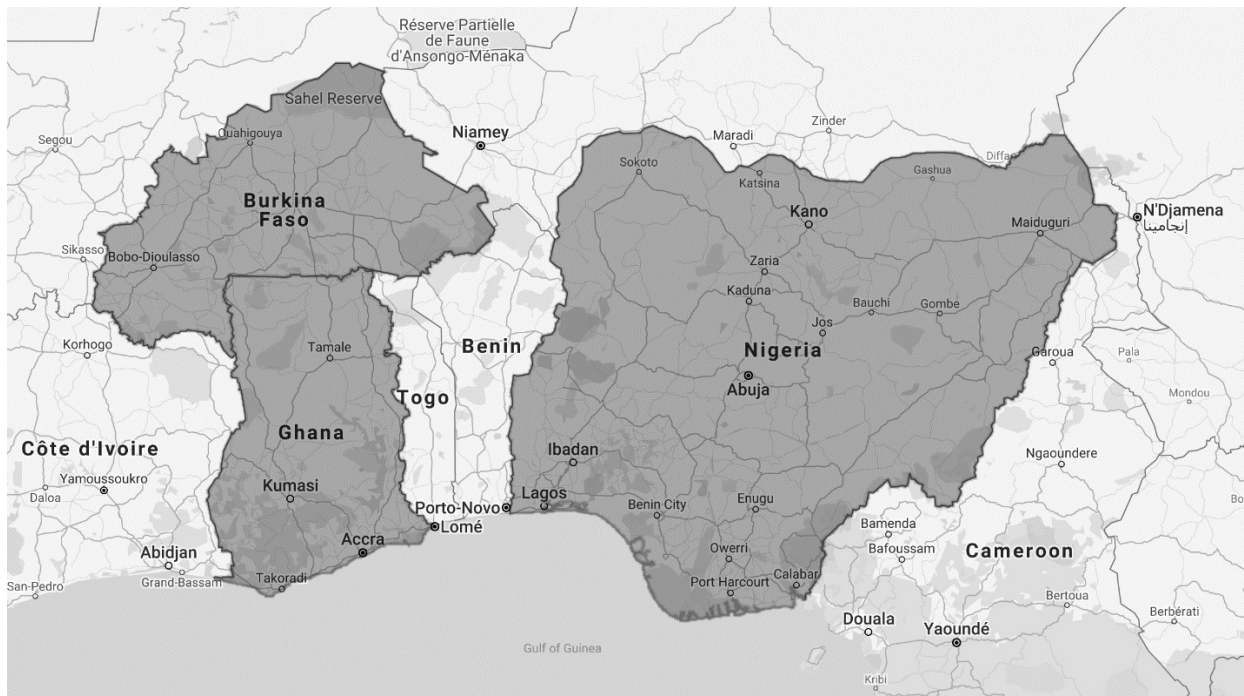


Abbildung 1: Übersicht über die Forschungs- und Partnerländer in MIGRAWARE.

Zu den wissenschaftlichen Ergebnissen gehörten eine bibliotheksbasierte Open-Source-Software (MIGRAWARE) zur Analyse von Migrationstrends und -treibern sowie zwei Apps zur Unterstützung der Datenerfassung zu Migrationswegen und bürgerwissenschaftliche Ansätze zur Erfassung von Migrationsgründen. Weitere wissenschaftliche Ergebnisse umfassten die Kartierung von Migrationstrends, die von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden, und Empfehlungen für skalenbasierte Governance-Instrumente (einschließlich regulatorischer, finanzieller und gemeinschaftsbasierter Instrumente), um den Migrationsdruck in der Region zu verringern.

Schließlich trug MIGRAWARE durch die Unterstützung der Forschungscoordination auch zur institutionellen Stärkung von WASCAL bei. Dies schuf die Grundlage für eine kontinuierliche Beobachtung zukünftiger Migrationstrends und ermöglichte fundierte politische Empfehlungen innerhalb der ECOWAS-Region. Das Projekt stärkt somit das Mandat von WASCAL,

westafrikanische Regierungen bei der Entwicklung geeigneter Politiken, Strategien und Programme zur Migrationsbewältigung zu beraten.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

MIGRAWARE wurde in Burkina Faso, Nigeria und Ghana (siehe Abbildung 1) durchgeführt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des WASCAL II – Research Call (WRAP 2.0) gefördert. Das Projekt war als internationales Verbundforschungsprojekt konzipiert und umfasste geförderte Institutionen aus Deutschland, Ghana, Nigeria und Burkina Faso. Zu den deutschen Partnerinstitutionen gehörten die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU), das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), die Julius-Maximilians-Universität Würzburg (JMU), CoKnow Consulting und PiSolution GmbH. Aus Ghana nahmen die University of Cape Coast (UCC), das Centre for Scientific and Industrial Research (CSIR) und Hen Mpoano (HM), eine lokale Nichtregierungsorganisation, teil. Die Federal University of Technology-Minna (FUT-Minna) aus Nigeria und die University of Nazi Boni (UNB) aus Burkina Faso waren ebenfalls Teil des Projekts. Alle Partner brachten fundiertes Fachwissen, etablierte Netzwerke und lokale Expertise zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Lebensgrundlagen gefährdeter Bevölkerungsgruppen sowie auf die Migrationsdynamik in Westafrika ein.



Abbildung 2: Übersicht über die im Rahmen des MIGRAWARE-Projekts durchgeführten Arbeitspakete.

Nachfolgend werden die forschungsorientierten Arbeitspakete näher erläutert.

In AP1 wurden die Treiber und Faktoren der Migration durch eine Literaturrecherche identifiziert. Der Fokus lag auf multiskaligen Ursache-Wirkungs-Beziehungen sowie den Wechselwirkungen zwischen Migration, Klimawandel, staatlichem Handeln und dem Einfluss weiterer Interessengruppen oder Einflussfaktoren mit lokaler Reichweite, wie beispielsweise der Industrie. Diese Analyse bildete einen zentralen Ausgangspunkt für die weiteren Projektziele. Ein entscheidender Aspekt war die systematische Bewertung dieser Faktoren im Rahmen eines methodischen Designs, das in enger Abstimmung mit den anderen Arbeitspaketen (APs)

entwickelt wurde. Mithilfe partizipativer Analysen wurden wahrgenommene Migrationsursachen und sozioökologische Einflussfaktoren identifiziert, insbesondere im Hinblick auf Herkunftsregionen und potenzielle Zielgebiete der Migration, einschließlich städtischer Peripherien mit hoher Bevölkerungsdichte und starker Siedlungsausbreitung. Informationen zu Migrationsgeschichte, -wahrnehmung, -motivation und auslösenden Ereignissen (z. B. Naturereignissen oder Umweltveränderungen) wurden durch Fokusgruppendifkussionen, Interviews und landesweite Umfragen in den Partnerländern gesammelt und validiert. Diese Umfragen wurden von den jeweiligen Partnern (UCC, UNB und FUT-Minna) organisiert und durchgeführt. Die identifizierten Faktoren, darunter Bevölkerungsdynamik, wirtschaftliche Bedingungen, Bildungsstand, Umweltfaktoren, Überweisungen, Landzugang, Niederschlagsmuster, Zugang zu Bildung und Informations- und Kommunikationstechnologien (einschließlich der Nutzung von Mobiltelefonen) sowie Standortmerkmale wie Bodendegradation, dienten als Grundlage für die Gewinnung relevanter räumlicher Datensätze durch Fernerkundung. Darüber hinaus wurden nicht-räumliche Daten, wie Volkszählungen und Berichte, genutzt, um räumliche Proxys zur Identifizierung von Migrationswegen und -mustern abzuleiten. Die daraus resultierenden Migrationsmuster lieferten wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung innovativer Konzepte (z. B. Citizen Science) und flossen direkt in die Gestaltung von Governance-Ansätzen und -Instrumenten ein.

AP2 konzentrierte sich auf die Nutzung multisensorischer Fernerkundungsdaten zur Dokumentation migrationsbedingter Landnutzungsänderungen sowie zur Kartierung der Morphologie des informellen Siedlungswachstums in den Partnerländern. Mithilfe maschineller Lernmethoden wurden die aus Satellitenbildern gewonnenen Daten mit geolokalisierten Tweets kombiniert, um den Zusammenhang zwischen sozialen Interaktionen und Migrationsentscheidungen zu analysieren. Dies ermöglichte die Nachverfolgung von Migrationspfaden und die Untersuchung von Migrationsbewegungen und -absichten sowohl innerhalb nationaler Verwaltungsgrenzen als auch grenzüberschreitend.

Die Analyse dieser geolokalisierten Informationen in Verbindung mit den in AP1 identifizierten Treibern und Faktoren bildete eine wichtige Grundlage für AP4 und führte zur Erstellung von Karten westafrikanischer Migrationspfade im Projektgebiet. Darüber hinaus wurden Experteninterviews, Stakeholder-Befragungen und partizipative Formate mit relevanten Migrationsakteuren durchgeführt, um mögliche Governance-Instrumente zu entwickeln, die Entscheidungsprozesse, Migrationspfade und Rückkehrdynamiken berücksichtigen.

Die daraus abgeleiteten Erkenntnisse führten zu konkreten Politikempfehlungen für ein effektives und nachhaltiges Management irregulärer Migration auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene. In diesem Zusammenhang wurde erstmals ein Citizen-Science-Ansatz in der Migrationsforschung erprobt. Dabei wurden die Perspektiven von Stakeholdern – meist staatlichen Institutionen und zivilgesellschaftlichen Organisationen – sowie von Migranten einbezogen, um ein Governance-Konzept zu entwickeln, das auf partizipativen Entscheidungsprozessen basiert. Im Rahmen dieses Ansatzes wurde eine mobile Citizen-Science-Anwendung entwickelt, die in AP3 zur Erfassung von Wahrnehmungen, Migrationsabsichten, Ambitionen und sozialen Einflussfaktoren auf lokaler bzw. kommunaler

Ebene eingesetzt wird und für Apple und Android verfügbar ist. Parallel dazu wurde ein Governance-Framework entwickelt und in Ghana und Nigeria validiert.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

WASCAL WRAP 2.0 - Verbundprojekt: MIGRAWARE - Arbeitspaket 4: Integrierte Modellierung und Abbildung von Migrationstreibern, Faktoren und Trends

Die Entwicklung der Systemarchitektur in AP4 basierte auf verschiedenen Daten und Informationen aus AP1 und AP2. Dazu gehören aggregierte Fernerkundungsdaten, die als Proxy-Indikatoren für Umweltfaktoren dienen. Sie berücksichtigt auch Wechselwirkungen zwischen Treibern und Faktoren. Hinzu kommen nationale Umfragedaten, Erkenntnisse aus Citizen-Science-Ansätzen, das Verhalten von Migrationsakteuren und Inputs aus AP1 bis AP3. Mithilfe dieser Architektur und zwei zentraler Ansätze: einem Bayesianischen Belief Networks (BBN) und einem groß angelegten, agentenbasierten Modell (ABM) wurden Migrationsszenarien modelliert. Beide Ansätze lieferten qualitative und quantitative Dateninputs für die Spezifikation von Modellschnittstellen und Entscheidungslogiken innerhalb der geplanten Open-Source-Bibliotheksanwendung „MIGRAWARE“.

Während der gesamten Projektlaufzeit fand ein intensiver Wissens- und Erfahrungsaustausch statt. Das MIGRAWARE-Projekt war ursprünglich auf drei Jahre angelegt. Es begann offiziell am 1. Juni 2021 und sollte am 31. Mai 2024 enden. Aufgrund von Verzögerungen, die durch die anfänglichen Reisebeschränkungen aufgrund von Covid-19 und die Sicherheitswarnungen des Auswärtigen Amtes für Burkina Faso und Nigeria verursacht wurden, wurde es im Rahmen einer kostenneutralen Verlängerung bis zum 31. Dezember 2024 fortgesetzt. Die Verlängerung war insbesondere aufgrund von Verzögerungen bei der Freigabe von Fördermitteln für afrikanische Partnerinstitutionen zur Durchführung nationaler Datenerhebungen notwendig. Dies hatte wiederum Auswirkungen auf die Auswertung und Integration dieser Daten mit den Geodaten in AP1 sowie auf die Entwicklung eines agentenbasierten Modells und eines Bayesianischen Belief Networks zur Integration in die geplante Open-Source-Bibliotheksanwendung. Aufgrund der großen Zeitverzögerungen konnte auch die Verlängerungsphase die vollständige Entwicklung der Open-Source-Bibliotheksanwendung von AP4 nicht kompensieren. Schließlich konnte lediglich ein Prototyp erstellt werden. Die Benutzeroberfläche und die Modelllogik wurden jedoch anhand der integrierten Modelle getestet. Als Abschluss des Projekts, aber auch als indirekte Fortsetzung des Projekts, befinden sich gemeinsame Publikationen noch in der Entwicklung und der abschließende Projektbericht wurde erstellt.

WP4, T4.2: Kurzfassung

Ziel von WP4, T 4.2 war die Erstellung einer Open-Source Software zur Simulation von Migrationsszenarien. Im Folgenden wird der Ablauf der einzelnen Schritte zur Erstellung des Prototypen kurz beschrieben:

Im Jahr 2021 erfolgte die Klärung der Datengenerierung und die Anpassung und Bereitstellung eines webbasierten Umfrageservice, der auf einer Software der Fa. PiSolution basierte.

Die Infrastruktur im Rechenzentrum wurde bereitgestellt und eingerichtet.

Es folgten erste Tests mit Pretestern und Abstimmungen zur Auswahl der Basistechnologie der Open-Source-Software.

Im Jahr 2022 erfolgten Anpassungen der Umfragesoftware, die den im laufenden Prozess übermittelten neuen Anforderungsprofilen der Projektpartner entsprach. Die Projektpartner wurden bei der Auswertung der Umfrageergebnisse unterstützt. Aufgrund von Verzögerungen in der Modellierung (Bereitstellung durch Partner) wurden eigene Lösungsansätze entwickelt und mit den Projektpartnern diskutiert. Im Ergebnis wurde entschieden, den BBN-Ansatz durch ein agentenbasiertes Modell zu ergänzen.

Im Jahr 2023 erfolgte im engen Austausch mit den Partnern die weitere Spezifizierung von Details der Modellumsetzung und der erforderlichen Datenbereitstellung. Als Platzhalter für das BBN wurde im ersten Schritt ein neuronales Netzwerk integriert. Die Optionen für die Entwicklungsumgebung des Backend und Frontend, die die erforderliche Flexibilität für die Bibliotheksintegration wurden geprüft. In der zweiten Jahreshälfte wurde das Webfrontend auf der Grundlage von Python Django und die Bibliothek des agentenbasierten Modells mit Python Mesa erstellt. Ende des Jahres konnten erste Simulationsläufe und erste Umsetzungen zur Echtzeit-Visualisierung der Simulationsschritte auf der neu eingerichteten Demo-Plattform erfolgen.

Ende des Jahres erfolgte ein nochmaliger Wechsel des Framework auf Python Flask, um eine bessere Bearbeitung der Simulationsschritte zu ermöglichen.

Im Jahr 2024 wurde die Datenbasis durch die von den Partner bereitgestellten Daten erweitert, Funktionalitäten ergänzt und skaliert und die Möglichkeiten der Webdarstellung durch die Implementierung von Bibliotheken zur optimierten Darstellung komplexer Objekte (WebGL-Shader) verbessert. Weiterhin erfolgte die Einrichtung der Weboberfläche auf der bereitgestellten Demo-Plattform.

Die Anwendung wurde mit einer Schnittstelle zu OSM4GiSCAME (Anwendung zur Verwaltung großer georeferenzierter Datenmengen) ausgestattet.

Im Zuge umfangreicher Performanceoptimierungen wurde im Entity-Component-System zur (technischen) Darstellung von Agenteneigenschaften das neuronale Netz (Platzhalter) integriert und durch das BBN ersetzt. Durch die Optimierungsmaßnahmen konnte die Anzahl der Agenten innerhalb einer Simulation von 20 auf max. 25.000 erhöht werden.

In die Anwendung wurden vorgefertigte Simulationen integriert, aus denen die Nutzer durch Anpassung von Konfigurationen eigene Anfragen erstellen können. So wurden zB Zusammenhänge zwischen Alter und Mortalität als Testsimulation hinterlegt, um die Funktionsweise der Software darzustellen. Simulationsergebnisse werden über eine einfach verständliche Textausgabe und Visualisierungen dargestellt.

Im letzten Schritt wurde eine Schnittstelle zur Durchführung von Literaturrecherchen aus der Anwendung heraus implementiert.

Die open source Software wurde als Prototyp übergeben.

Der Prototyp zur Simualtion von Migrationsszenarien weist folgende signifikante Eigenschaften auf und Funktionalitäten auf:

- Definition einer beliebige Anzahl von Agenten (max. 25.000)
- Vergabe zufälliger oder fest definierte Eigenschaften für jeden Agenten
- Vergabe von Faktoren für jeweiligen Landnutzungstyp als Einfluss auf das Migrationsverhalten
- historische Logfile- und Grafikauswertungen (Alterspyramide)
- API zur Literaturrecherche

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Im Verlauf des Projektes wurden für die Durchführung, soweit bekannt, keine bekannten Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte benutzt.

4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Verwendete Software/Bibliotheken:

Server:

- python (3.10.2) -> <https://www.python.org/>
- Esper (3.3) -> <https://esper.readthedocs.io/>
- Flask (3.0.3) -> <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>
- Mesa (2.3.0) -> <https://mesa.readthedocs.io/latest/>
- Numpy (1.26.4) -> <https://numpy.org/>
- Pandas (2.2.2) -> <https://pandas.pydata.org/>
- pillow (10.3.0) -> <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>
- pyAgrum (2.0.1) -> <https://pyagrum.readthedocs.io/en/2.1.1/>
- SciPy (1.13.0) -> <https://scipy.org/>
- SQLAlchemy (2.0.36) -> <https://www.sqlalchemy.org/>
- PyTorch (2.3.0) -> <https://pytorch.org/>

Frontend:

- nodejs (20.9.0) -> <https://nodejs.org/en>
- npm (10.1.0) -> <https://www.npmjs.com/>
- tailwindcss (3.4.3) -> <https://tailwindcss.com/>
- chart.js (4.4.9) -> <https://www.chartjs.org/>
- three (0.164.1) -> <https://threejs.org/>

Thematisch:

Web:

- Flask
- SQLAlchemy
- npm
- tailwind
- chart.js
- three

Berechnung/Bibliothek:

- Esper (ECS für Agentendefinition / Simulationsschritte)
- Mesa (Agent Based Modeling)
- Numpy, SciPy, PyTorch (Vektor-/Matrixrechnung, Performance bei Berechnung)
- Pandas, pillow, SQLAlchemy (Daten einlesen und aufbereiten (csv, Excel, Bilder, Datenbank))

- pyAgrum (BBN)

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt profitierte maßgeblich von der intensiven und kontinuierlichen Zusammenarbeit aller Projektpartner, insbesondere in der Implementierungs- und Validierungsphase. Dabei spielte das Netzwerk afrikanischer Partner eine zentrale Rolle. Die enge Zusammenarbeit zwischen den Partnerinstitutionen erstreckte sich über alle Projektphasen. Zur Validierung und späteren Übernahme der Projektergebnisse durch die lokalen Zielgruppen wurde eine erweiterte Zusammenarbeit mit relevanten Institutionen etabliert:

1. Ghana Statistical Service
2. Centre for Migration Studies, University of Ghana
3. Land Use and Spatial Planning Authority (LUPSA), Ghana
4. Migration Department of the Ministry of Home Affairs, Ghana
5. International Organization for Migration, Ghana and Nigeria
6. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
7. Federal Ministry of the Interior, Nigeria
8. Immigration Department, Nigeria
9. United Nations Development Programme, Nigeria
10. Federal Road Safety Core, Nigeria
11. Ministry of Environment, Green Economy and Climate Change, Burkina Faso
12. Ministry of Agriculture and Hydroagricultural Development, Burkina Faso
13. Ministry of Women, National Solidarity and Family, Burkina Faso

Ziel dieser Kooperationen war die Förderung des Wissenstransfers und der Weiterbildung zu zentralen Projektergebnissen und politischen Empfehlungen. Die lokalen Institutionen wurden im Umgang mit der entwickelten Citizen-Science-App sowie zu technischen Aspekten der identifizierten Klimawandel- und Umweltfaktoren geschult. Darüber hinaus erhielten die lokalen Partnerinstitutionen Schulungen zur praktischen Umsetzung des vorgeschlagenen Governance-Rahmens für Migrationsmanagement. Dies stärkte ihre technischen, institutionellen und personellen Kapazitäten, um die innovativen Forschungsergebnisse zur Bewältigung von Migrations- und Klimarisiken in der westafrikanischen Subregion zu nutzen. Synergien mit dem vom BMBF geförderten Schwester-Migrationsprojekt MiTRaWA konnten für die Feldforschung und die Projektdurchführung genutzt werden. Diese wurde im Rahmen des WASCAL-Programms WRAP 2.0 unter der Leitung der Universität Passau durchgeführt.

6. Referenzen

Frank, S., Fürst, C., Pietzsch, F., 2015. Cross-Sectoral Resource Management: How Forest Management Alternatives Affect the Provision of Biomass and Other Ecosystem Services. *For-ests* 6, 533-560.

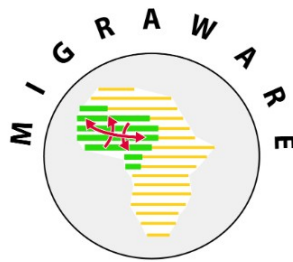
Davidsson, C., Fürst, C., König, H., Ende, H.-P., Pietzsch, K., Pietzsch, F., Abiy, M., Makeschin, F. (2008): Procedures for developing an interactive tool for supporting land-use management planning - a stakeholder-based approach, *Impact Assessment of Land Use Changes*, Book of Abstracts, 243.

Technologische Entwicklung der GISCAMÉ-Suite und der OSM4GISCAMÉ -Plattform



Eingehende Darstellung (Teil II) der PiSolution GmbH

Rural-urban and cross-border migration in West-Africa – an integrated assessment framework of drivers, processes and sustainable responses (MIGRAWARE)



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium für Bildung und Forschung



DLR Projektträger

Projekttitel	WASCAL WRAP 2.0 - Verbundprojekt: MIGRAWARE - Ländlich-urbane und grenzüberschreitende MIGRATION in West-Afrika - ein integrierter Bewertungsrahmen für Treiber, Prozesse und nachhaltige Lösungen (RESponses) - Teilprojekt 1: Koordination und Management, Modellierung & Erkundung von Vegetationsänderungen
Förderkennzeichen	01LG2082A
Zuwendungsempfänger	PiSolution GmbH (PIS)
Koordination	PiSolution GmbH (PIS)
Teilprojektleiter/in 01LG2082A	Frank Pietzsch (PIS)
Laufzeit des Projektes	01.06.2021 – 31.12.2024 (Kostenneutrale Verlängerung: 01.06.2024 – 31.12.2024)

Berichterstattende

Frank Pietzsch
PiSolution GmbH
An der Hart 6
04416 Markkleeberg

Markkleeberg, 20.06.2025

1. Inhaltsverzeichnis

II Eingehende Darstellung.....	5
1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	5
1.1 WP 4: Knowledge integration and modelling.....	6
1.1.3 Development of the ABM model (T4.1).....	11
1.1.4 Dimensions of the ABM model, data sources and tools.....	12
1.1.5 Logic for agent migration decision-making.....	16
1.1.6 Workshops for ABM capacity building.....	16
1.1.7 MIGRAWARE Open Source Software Application (T4.2).....	17
2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	21
3. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	24
4. Des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	24
5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	24
5.1. Referenzen.....	24

Abbildungsverzeichnis

Figure 1: Framework for the design of the MIGRAWARE Open Source Library application.....	6
Figure 2: Core processes intended for the front and back-end design of the MIGRAWARE Open Source Library.....	7
Figure 3: Framework for developing Bayesian Belief Network.....	8
Figure 4: Bayesian Belief Network input data provided by the project partners.....	9
Figure 5: MIGRAWARE Bayesian Belief Network (BBN) model structure development; adapted from Drees & Liehr (2015) and Groth et al. (2021). The figure shows the most important submodels and their derivation. The structure narrows down multiple sub-models into a final network of core variables that influences migration decision.....	10
Figure 6: Example: Structure of the conditional probability tables. The figure shows the relationship between age, gender and social network status.....	10
Figure 7: Trained Bayesian Belief Network for Ghana with interacting socio-economic factors showing migration motives, aspirations and perceptions that influence migration patterns and the final migration decision.....	11
Figure 8: Conceptual framework for coupled social-ecological systems connected by migration. The illustration uses symbols such as a tree and a rain cloud for the natural environment and a stick figure for the human actor. Each subsystem can represent multiple origins and destinations (after Thober et al., (2018))......	12
Figure 9: Agent-based conceptual model with agent archetypes and behavioral variables.....	14

Tabellenverzeichnis

Table 1: Scope of the agent-based model analysis.....	13
Table 2: Agent behavior defined on the basis of data within the model.....	15

Table 3: Utility functions of the agents defined in the model framework.....15

II Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Dieser ausführliche Bericht bildet den zweiten Teil des Abschlussberichts und dokumentiert die Arbeiten und Ergebnisse des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojekts MIGRAWARE. Basierend auf den im Projekt definierten Arbeitspaketen (APs) und Aufgaben (T) berücksichtigt der Bericht die ursprüngliche Projektbeschreibung. Er gibt einen klaren Überblick über die Verwendung der Mittel und stellt die wesentlichen Ergebnisse dar. Darüber hinaus erläutert er detailliert die Notwendigkeit und Zweckmäßigkeit der Projektarbeiten, den aktuellen Forschungsstand in verwandten Projekten sowie den Nutzen und die geplante Verwertung der Ergebnisse gemäß dem aktualisierten Verwertungsplan.

1.1 WP 4: Knowledge integration and modelling

Ziel von WP4 war die Bereitstellung einer bibliotheksbasierten Open-Source-Online-Anwendung für Migrations- und Mobilitätsstudien in Westafrika. Diese basiert auf den bereitgestellten Modellen, Daten und Informationen aus WP1, WP2 und WP4 (UNB). Zum Verständnis der Funktionsweise und des Anwendungszweckes wird der Teilbericht des Partners UNB den ausführlichen Ergebnissen der technologischen Konzeption und Programmierung der Open-Source- Anwendung (Prototyp) durch PiSolution vorangestellt.

Die Systemarchitektur des Modells basiert auf einem komplexen gekoppelten System, bestehend aus einem Bayesianischen Glaubensnetzwerk (BBN) und einem agentenbasierten Modell (ABM). Die Eingaben beider Modelle dienten als Grundlage für die Entwicklung der Anwendungsschnittstelle und definierten den (qualitativen und quantitativen) Daten- und Eingabebedarf, was zur Entwicklung eines Anwendungsprototyps und einer finalen Version führte. Das Open-Source-Bibliotheksframework (siehe Abbildung 32) besteht aus drei Backend-Designs: einer räumlichen Datenbankbibliothek zur Aufnahme von Umweltindikatordaten aus WP2, einem Abschnitt zur Aufnahme der Zotero-Datenbank-API und einer Benutzeroberfläche zur Parametrisierung, Überwachung und zum Export der Modellergebnisse (siehe Abbildung 33).

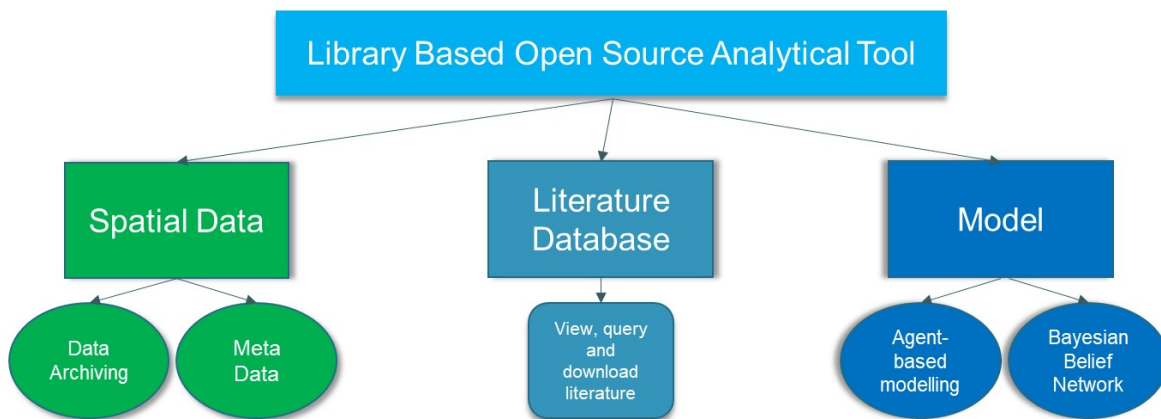


Figure 1: Framework for the design of the MIGRAWARE Open Source Library application.

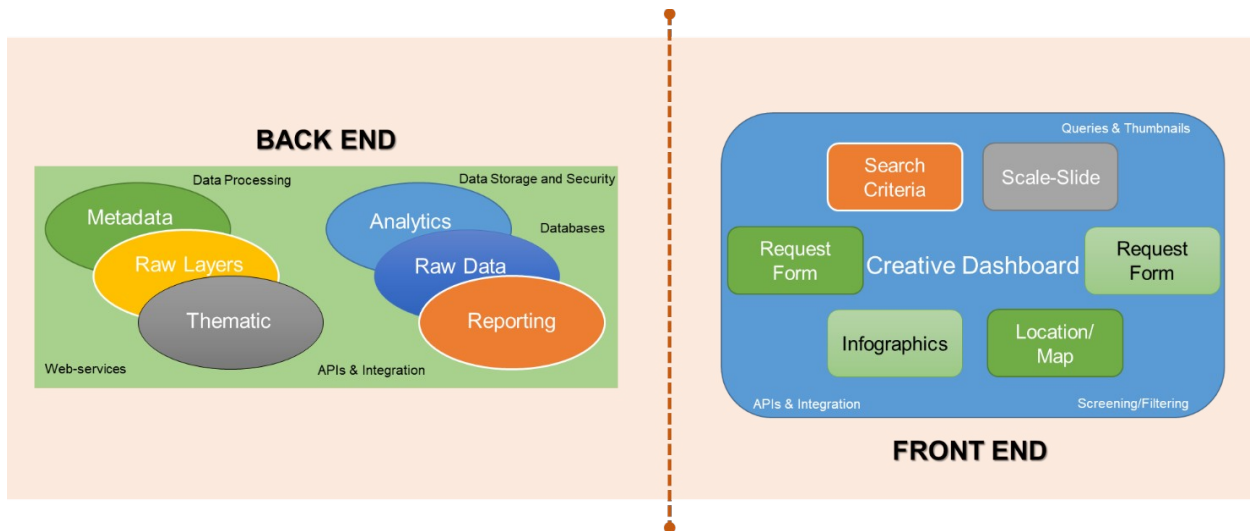


Figure 2: Core processes intended for the front and back-end design of the MIGRAWARE Open Source Library.

Dieses übergeordnete Ziel konnte aufgrund zeitlicher Einschränkungen und technologischer Herausforderungen, die während der Projektdurchführung auftraten, nicht erreicht werden. Dennoch wurden in einigen Teilen des BBN- und ABM-Systems Fortschritte erzielt. Die wichtigsten Fortschritte der jeweiligen Modellentwicklung werden in den folgenden Abschnitten beschrieben. In diesem Teil des Berichts wird auch der Entwicklungsstand des Prototyps erörtert.

1.1.3 Rahmen des BBN-Modells und der Implementierungsentwicklung (T4.1)

Laut dem IPCC-Bericht (2022) führen verschiedene soziale und ökologische Einflussfaktoren und ihre möglichen Wechselwirkungen zu unterschiedlichen Migrationsmotiven. Ein Migrant oder potenzieller Migrant – insbesondere verstanden als Akteur im Sinne der Rational-Choice-Theorie (Faist, 2000) – handelt auf der Grundlage individueller Entscheidungsprozesse. Das Individuum wird als rational und einfallsreich angesehen und wägt verschiedene alternative Triebkräfte und Einflussfaktoren ab – innerhalb eines Rahmens von Einschränkungen und Möglichkeiten, die seine Entscheidung zur Migration beeinflussen. Darauf aufbauend wurde das Modell um die Dimensionen Motive, Aspirationen und Wahrnehmungen erweitert, die als theoretische Grundlage für die Analyse individueller Migrationsentscheidungen dienen.

Wir stellen folgende Hypothese auf:

1. Migrationsmotive, -bestrebungen und -wahrnehmungen (wie Bildung, Familie, Neugier, persönliche Aspirationen und individuelle Wahrnehmungen) werden primär von sozialen Bedingungen beeinflusst. Es gibt keine übergreifenden „Umweltknoten“ – der Einfluss auf Migrationsentscheidungen ist in diesem Fall rein sozioökonomischer Natur.

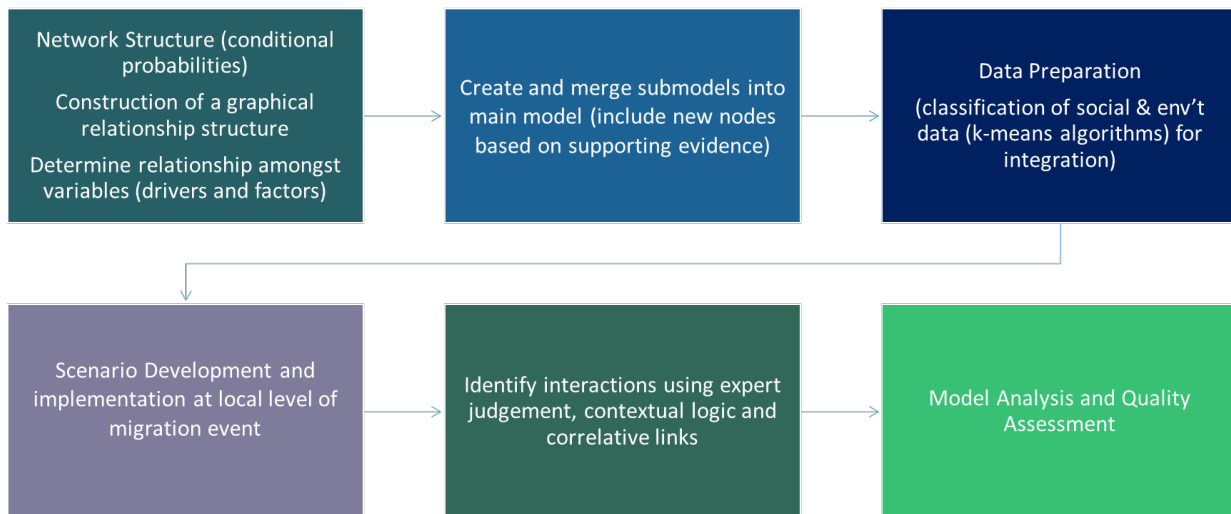
2. Migrationsmotive, -bestrebungen und -wahrnehmungen im Zusammenhang mit Lebensunterhalt und Beschäftigung hingegen sind „Kindknoten“, d. h. sie sind sowohl mit Umweltfaktoren (z. B. Landwirtschaft, Überschwemmungen, Niederschlag) als auch mit sozialen Faktoren verknüpft.

Vor der Entwicklung des Modells (siehe Abbildung 34) gingen wir davon aus, dass die Wechselwirkungen zwischen sozioökologischen Bedingungen einerseits und Migration sowie ihren räumlichen und zeitlichen Mustern andererseits je nach individuellen Migrationsmotiven,

-bestrebungen und -wahrnehmungen variieren. Zu diesem Zweck wurden drei übergreifende Variablen abgeleitet und mit etablierten sozioökonomischen und ökologischen Faktoren in Beziehung gesetzt. Grundlage war eine empirische Befragung mit über 2.000 Teilnehmern (AP 1).

Figure 3: Framework for developing Bayesian Belief Network.

Zur Entwicklung der bedingten Wahrscheinlichkeitstabellen des Modells wurden kombinierte



Umfragedaten zur Darstellung der sozioökonomischen Einflussfaktoren verwendet. Umwelt- und externe Einflussfaktoren wurden aus Fernerkundungsdaten abgeleitet. Das Modell basiert auf demografischen Merkmalen (Alter, Geschlecht) und sozioökonomischen Motivationen (z. B. Bildung, Beschäftigungsmöglichkeiten, Familie, Neugier), die als zentrale Einflussfaktoren für die Netzwerkstruktur dienen.

Zusätzliche Variablen umfassen individuelle Bestrebungen und Wahrnehmungen, wie sie in AP3.1 im Kontext psychosozialer Migrationsfaktoren eingeführt wurden. Umweltvariablen umfassen landwirtschaftliche Bedingungen (z. B. Bodenfruchtbarkeit oder -unfruchtbarkeit), Überschwemmungs- und Niederschlagsmuster. Diese Umweltdaten stammen aus den Arbeitspaketen AP1 und AP2. Abbildung 35 zeigt, wie die Ergebnisse des gesamten Projekts in das Modell passen. Die Auswahl der genannten Umweltfaktoren basiert auf AP1 und AP2.

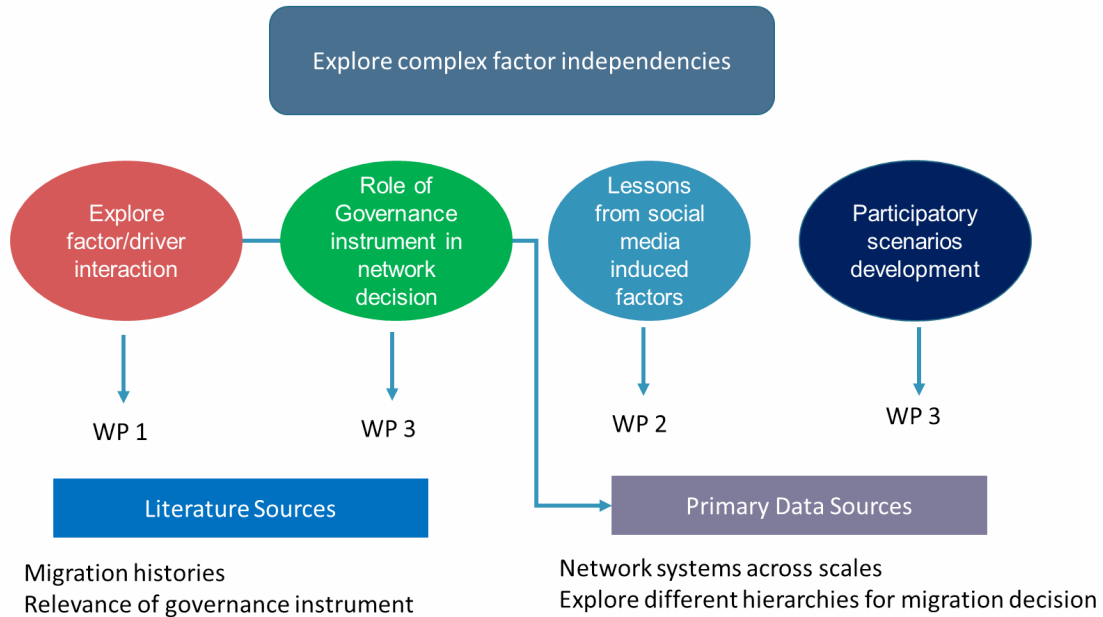


Figure 4: Bayesian Belief Network input data provided by the project partners.

In Anlehnung an Drees & Liehr (2015) und Groth et al. (2021) wurden verschiedene Submodelle erstellt, um stark korrelierte Faktoren zu eliminieren (siehe methodischen Rahmen in Abbildung 36). Darüber hinaus bietet das Netzwerk verschiedene Möglichkeiten, die Beziehung zwischen verschiedenen Variablen zu bestimmen. Ist beispielsweise die familiäre Bindung einer Person, aber nicht ihr Alter bekannt, kann die Verknüpfung dieser familiären Bindung mit ihrem Alter genutzt werden, um die Wahrscheinlichkeit für die familiäre Bindung (z. B. eine familiäre Bindung in einem afrikanischen Umfeld) zu aktualisieren. Ein erster Entwurf des Submodells verwendet derzeit Variablen wie „Bildung“, „familiäre Bindung“, „Wahrnehmungen“, „Bestrebungen“ und „Besuche/Neugier“ und berücksichtigt alle sozioökonomischen Variablen. Das Submodell für das Motiv „Lebensunterhalt/Beschäftigung“ ist in zwei Submodelle aufgeteilt, eines für die sozioökonomischen Variablen und das andere für die Umweltvariablen. Die zusätzliche Klassifizierung sozioökonomischer Daten umfasste Geschlecht, ethnische Zugehörigkeit, Familienstand, Einkommen (wirtschaftliche Lage), soziokulturelle Bindungen, Überweisungen, soziale Netzwerke, Zugang zu Familienland, Konflikte, Handelsmöglichkeiten, Abenteuer und Zugang zu Bildung. Das andere Untermodell für Umweltdaten umfasst Erosion, Überschwemmungen, Niederschlag und Bodenfruchtbarkeit.

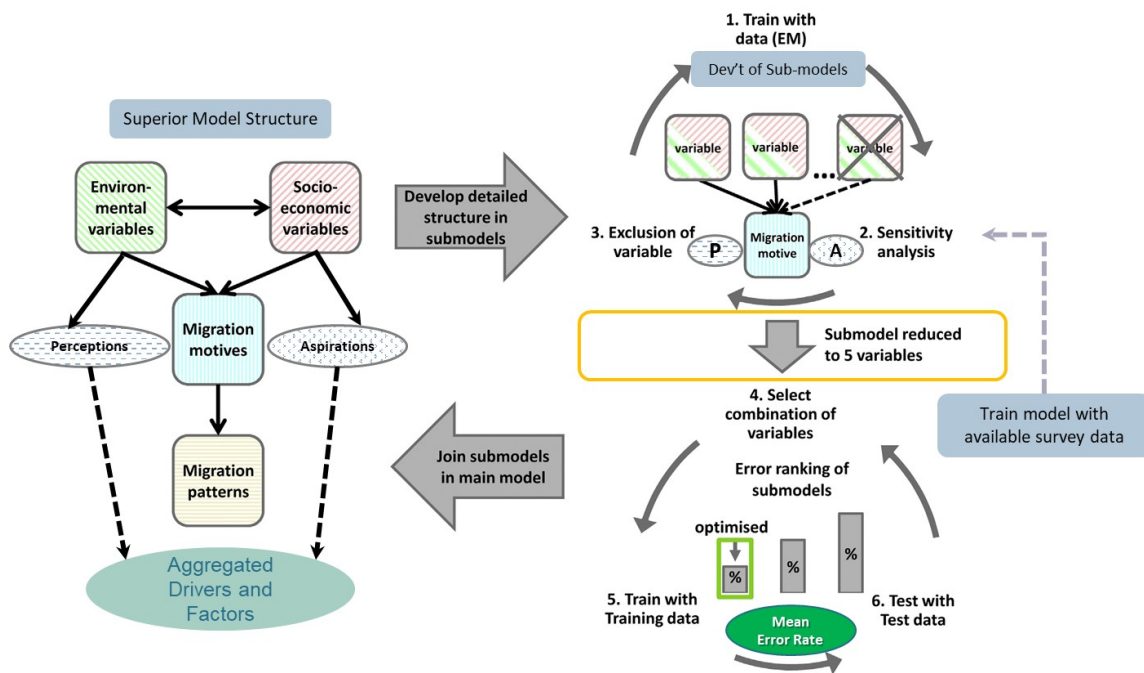


Figure 5: MIGRAWARE Bayesian Belief Network (BBN) model structure development; adapted from Drees & Liehr (2015) and Groth et al. (2021). The figure shows the most important submodels and their derivation. The structure narrows down multiple sub-models into a final network of core variables that influences migration decision.

Ein systematisches BBN-Framework ist hilfreich für die Modellierung von Migration. Hypothetisch aktualisiert das Sammeln von Informationen über Ereignis B (z. B. die Entscheidung zur Migration) die anfängliche a-priori-Wahrscheinlichkeit von Ereignis A (z. B. familiäre Bindungen oder die Aufnahme einer Weiterbildung), was zu einer a-posteriori-Wahrscheinlichkeit von Ereignis A führt. Für die Initialisierungsschritte des BBN wurden mit Unterstützung der Projektpartner vorläufige quantitative bedingte Wahrscheinlichkeiten (siehe Beispiel in Abbildung 37) und gerichtete azyklische Graphen erstellt, die die Richtung der variablen Abhängigkeiten, die Bedingungen (übergeordneter Knoten) und die Bedingungen der wahrscheinlichen Effekte (untergeordneter Knoten) darstellen. Zur Verifizierung der vorläufigen Ergebnisse wurde mit Netica, einem Anwendungsprogramm/einer Software zur Modellierung von BBNs, ein BBN-Prototypmodell erstellt (Abbildung 38). Der vorläufige Test zeigt, dass es möglich ist, die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Faktoren und den Einfluss von Feedback auf die Migrationsentscheidung insgesamt zu beobachten. Die Rolle von Akteuren (z. B. familiäre

Netica - [Networks Table (in Bayes net Sample_Model_3)]

File Edit Table Window Help

Node: Networks Apply OK

Chance % Probability Reset Close

Age Migrated	Gender	Active	Inactive
Young	Male	90	10
Young	Female	90	10
Active	Male	100	0
Active	Female	100	0
Old	Male	20	80
Old	Female	20	80

Figure 6: Example: Structure of the conditional probability tables. The figure shows the relationship between age, gender and social network status.

Bindungen), wenn sie basierend auf ihren bedingten Wahrscheinlichkeiten verändert wird, zeigt signifikante Auswirkungen auf die Migrationsentscheidung.

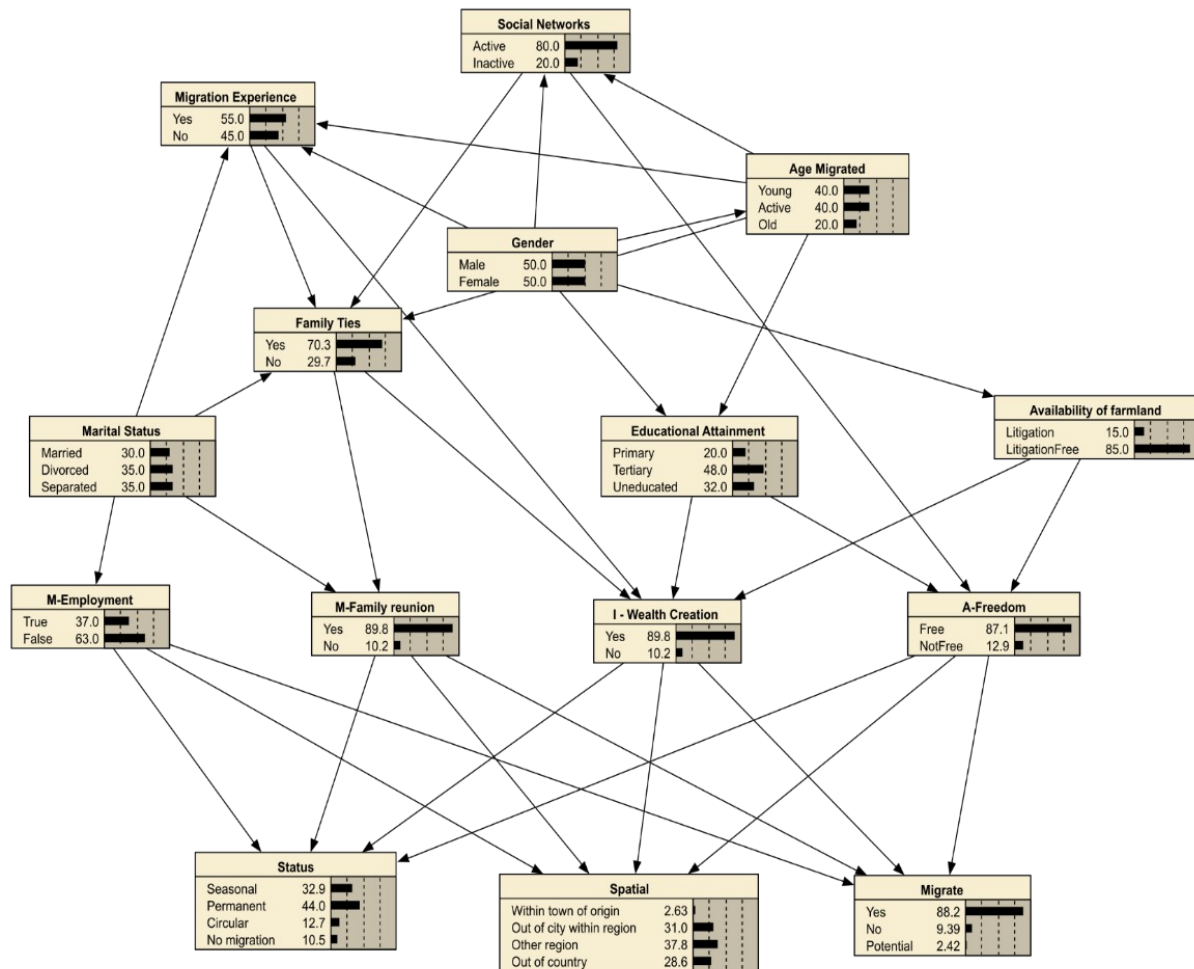


Figure 7: Trained Bayesian Belief Network for Ghana with interacting socio-economic factors showing migration motives, aspirations and perceptions that influence migration patterns and the final migration decision.

Es ist zu beachten, dass die kostenlose Version von Netica nur 15 der ursprünglich 27 Modellvariablen unterstützt. Darüber hinaus wird die Integration geografischer Daten, in diesem Fall Umweltfaktoren, die die zweite Hypothese beeinflussen, in dieser Version nicht unterstützt. Daher wurde eine Volllizenz von Netica mit der räumlichen Erweiterung GeoNetica bestellt. Aufgrund von Verzögerungen bei der Produktbeschaffung und Lizenzierung konnten die vollständige räumliche Erweiterung und die erweiterten Variablen nicht implementiert werden.

1.1.3 Development of the ABM model (T4.1)

Die UNB entwickelte die agentenbasierte Modellkomponente (ABM) des Projekts. Die Modelllogik bildet sowohl die Auswirkungen des Klimawandels und der Nutzung natürlicher Ressourcen auf die Umwelt als auch auf Migrationsentscheidungen ab und umgekehrt. Um den Zusammenhang zwischen Umweltveränderungen und Migration realistisch abzubilden, betrachtet der Ansatz, ähnlich wie das BBN-Modell, Migration als Teil eines sozioökologischen Systems. Im Gegensatz zu bestehenden einseitigen Modellen, in denen Migrationsentscheidungen lediglich als Reaktion auf Umweltveränderungen betrachtet werden

(z. B. Thober et al., 2018), zeigt unser Ansatz eine wechselseitige Interaktion (siehe Abbildung 39). Dabei beeinflussen sowohl Umweltfaktoren die Migrationsentscheidungen der Agenten als auch umgekehrt Migrationsentscheidungen die Umweltbedingungen (z. B. Umweltzerstörung). Der hier entwickelte ABM-Ansatz basiert auf Arbeiten wie Walsh et al. (2013), die ABM zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Umwelt, Klimawandel und Migration nutzen.

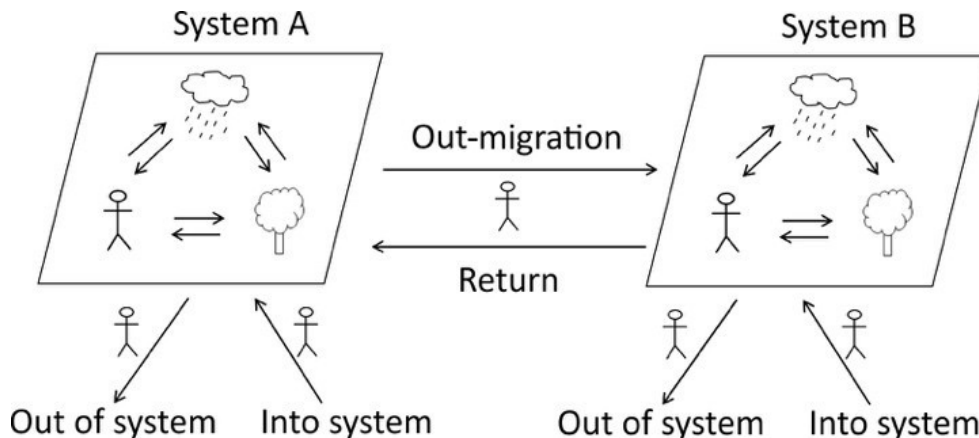


Figure 8: Conceptual framework for coupled social-ecological systems connected by migration. The illustration uses symbols such as a tree and a rain cloud for the natural environment and a stick figure for the human actor. Each subsystem can represent multiple origins and destinations (after Thober et al., (2018)).

Dabei wurden vier Dimensionen berücksichtigt: Soziales, Wirtschaft, Biophysik und Migrationspolitik. Im folgenden Unterabschnitt wird der Aufbau des ABM-Modells Schritt für Schritt beschrieben, um ein einfaches Verständnis der Modelllogik zu ermöglichen.

1.1.4 Dimensions of the ABM model, data sources and tools

Diese Dimensionen ermöglichen einen integrierten Bewertungsansatz, der bei der Entwicklung des Modells berücksichtigt wird. Die soziale Dimension berücksichtigt das Einkommen der Haushalte, ihre Struktur, ihr Arbeitsmanagement und ihre sozialen Netzwerke. Die ökonomische Dimension berücksichtigt die Aktivitäten der Haushalte und ihr Einkommen. Die in den Partnerländern erhobenen Umfragedaten lieferten Daten zur sozialen und ökonomischen Dimension des Modells. Die biophysikalische Dimension berücksichtigt Klima, Bodenqualität, Ernteerträge, Landnutzung und Bodenbedeckung und wird durch die in WP1 und WP2 erreichten Meilensteine bereitgestellt. Die Modellimplementierung basiert auf der Gama-Plattform (Grignard et al., 2013) und nutzt GAML, eine spezifische Sprache für Modellierung und Simulation. Anschließend wird die GenStat-Bibliothek zur Generierung der Population verwendet, während PostgreSQL (Drake und Worsley, 2002) zur Verwaltung der Simulationsdaten genutzt wird.

Unser ABM-Prozess bildet die Migrationsentscheidungen der Haushalte im Kontext von Klimawandel, Landmanagement und Ernteerträgen sowie deren Auswirkungen auf die Migrationsentscheidungen der Akteure ab. Er zeigt auch den Einfluss sozialer Netzwerke auf individuelle Migrationspräferenzen. Akteure, in diesem Fall Migranten, teilen und erhalten positive und negative Informationen über Migration aus ihrem sozialen Netzwerk. Diese Informationen beeinflussen ihre Migrationsmotivation.

Das Agentenverhalten im ABM-Modell ist wie folgt strukturiert:

- (1) Migrationsentscheidungen von Haushalten im Kontext des Klimawandels,
- (2) die Verbreitung von Informationen über Migration über das soziale Netzwerk und deren Einfluss auf die Migrationsentscheidungen von Haushalten,
- (3) Migrationsbewegungen zwischen verschiedenen Orten.

Zur Beschreibung individueller Migrationsentscheidungen verwenden wir die Theorie geplanter Entscheidungen. Die individuelle Migrationsentscheidung hängt vom sozialen Netzwerk und dem Vermögen des Haushalts ab (welches wiederum von landwirtschaftlicher Produktion, Viehbestand, nichtlandwirtschaftlichen Einkommen usw. abhängt). Die Wahl des Migrationsziels richtet sich nach den individuellen Kriterien (bzw. Präferenzen). Ziel des Einzelnen ist es, ein Ziel zu wählen, das seinen Präferenzen und Einschränkungen entspricht.

Zur Modellierung der Zielwahl des Migranten verwenden wir eine Entscheidungsregel, die auf dem Konzept der beschränkten Rationalität basiert. Das Modell wird derzeit auf der GAMA-Plattform entwickelt. Das Klimamodul, das Haushaltsmodul und das Demografiemodul wurden bereits entwickelt. Der Einfluss des sozialen Netzwerks auf die individuelle Migrationsneigung wurde ebenfalls entwickelt. Der Umfang der Analyse ist in Tabelle 4 dargestellt: Umfang der agentenbasierten Modellanalyse.

Table 1: *Scope of the agent-based model analysis.*

Scale	Processes	Impacts
Individual Household	Out-migration; in-migration Agricultural production, emigration, Immigration, livestock, off-farm income and activities	Food security, income
Field (plot)	Land use change, crop production, fertilizer use	Soil Carbon sequestration, crop yield, CO ₂ emissions
Agricultural level	Land use change, crop production, fertilizer use	Soil Carbon sequestration, crop yield, CO ₂ emissions
Local level	Exchange of experience on migration, technology exchange, marriage, land use change, in- migration, social networks	Out-migration; in-migration
Regional level	Climate change, policy actions	Out-migration; in-migration

Das Modell umfasste vier Agententypen: den Organisationsagenten, den Haushaltsagenten, den Einzelagenten und den Viehagenten (siehe Abbildung 40). Tabelle 5 listet die Verhaltensdefinitionen der Agententypen basierend auf Variablen auf, die in den nationalen Erhebungen in Ghana, Nigeria und Burkina Faso definiert wurden. Ähnliche Variablen wurden im BBN-Modell verwendet, um die Systemverknüpfung zu erleichtern.

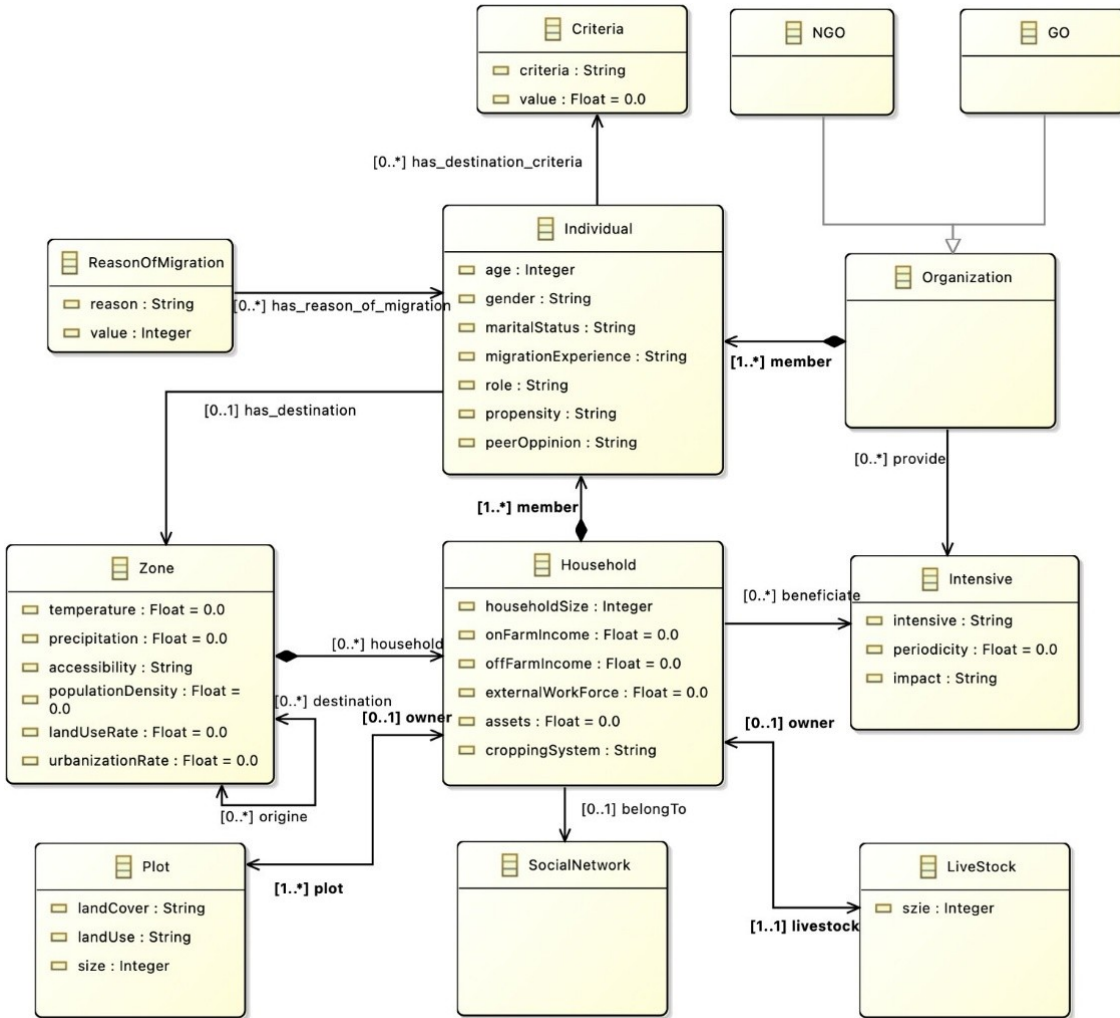


Figure 9: Agent-based conceptual model with agent archetypes and behavioral variables.

Table 2: Agent behavior defined on the basis of data within the model.

Agent	Behavior
Organization	Eine Organisation ist sowohl Akteur als auch Gruppe von Landwirten, die gemeinsam dieselben Ziele verfolgen. Sie kann eine Regierungsorganisation, eine Nichtregierungsorganisation, ein Unternehmen oder eine Bauernorganisation repräsentieren. Sie unterstützt Landwirte durch verschiedene Maßnahmen (Lebensmittel, Mikrokredite, Sensibilisierung, Intensivierung politischer Maßnahmen) bei der Verbesserung ihrer Lebensgrundlagen.
Household	Hauptakteur des Modells. Charakterisiert durch Anzahl der Personen, Haushaltsstruktur, Größe des Viehbestands, Einkommen und außerlandwirtschaftliche Einnahmen. Die Organisation gehört verschiedenen Organisationen an. Soziale Netzwerke bestimmen den Zugang zu Migrationsinformationen.
Individual person	Repräsentiert eine Person im Modell. Charakterisiert durch Alter, Geschlecht, Familienstand, Kriterien für die Zielwahl und Migrationsgründe.
Zone	Repräsentiert ein Gebiet, ein Dorf oder eine Region. Charakterisiert durch Inputpreise, Temperatur, Push-Faktoren sowie Migrationssteuerung und -management.

Das Modell repräsentiert drei Netzwerktypen: 1) das Individuum-zu-Individuum-Netzwerk, 2) das Haushalt-zu-Haushalt-Netzwerk und 3) das Ort-zu-Ort-Netzwerk. Das Konzept des Agenten im Modell wird in Tabelle 6 kurz beschrieben.

Table 3: Utility functions of the agents defined in the model framework.

Function	Agent Utility
Adaption	Haushaltsagenten im Modell passen ihre Anbaustrategie an die Ernteerträge an, die von Bodeneigenschaften und Klimabedingungen abhängen. Die Anbaufläche wächst dann umgekehrt proportional zum Ernteertrag, um den Ertragsverlust auszugleichen. Darüber hinaus nutzen Haushaltsagenten im Modell Migration als Anpassungsstrategie. Sinkt das Vermögen unter einen bestimmten Schwellenwert, ziehen die Haushaltsmitglieder an einen anderen Ort.
Interaction	Das Modell umfasst zwei Kategorien von Interaktionen: die Interaktion zwischen Agenten und die Interaktion zwischen Agenten und Umwelt. Haushalts- und Individualagenten interagieren untereinander, um Informationen über ihre Migrationserfahrungen und ihr Ziel auszutauschen. Die Interaktionen zwischen Haushalten und Individuen finden in ihren sozialen Netzwerken statt. Organisationsagenten interagieren mit Haushalten, um sie durch verschiedene Initiativen zu unterstützen und sie für die Auswirkungen der Migration zu sensibilisieren. Im Rahmen der Interaktion zwischen Agenten und Umwelt interagieren Haushaltsagenten mit der Umwelt, hauptsächlich im Hinblick auf die umweltabhängige Pflanzen- und Viehproduktion (Klima, Bodeneigenschaften, Biomasse usw.). Viehagenten interagieren mit der Umwelt durch die Aufnahme von Biomasse, die zur Kohlenstoffdynamik beiträgt.
Prediction	Das Haushaltsmodell prognostiziert den aktuellen Ernteertrag basierend auf dem Durchschnittsertrag der letzten fünf Jahre. Das Modell prognostiziert das

Observation	<p>Bevölkerungswachstum sowie die Ab- und Zuwanderung an verschiedenen Orten. Schließlich prognostiziert das Modell den Ernteertrag in Abhängigkeit vom Klimaszenario.</p> <p>Zur Beobachtung der Migrationsdynamik im Modell werden das Bevölkerungswachstum, das Haushaltseinkommen, die Nahrungsmittelproduktion, Migrationsströme zwischen Zonen sowie Landnutzungs- und Bedeckungsänderungen herangezogen.</p>
-------------	---

1.1.5 Logic for agent migration decision-making

Zur Darstellung von Migrationsentscheidungen im Modell wird ein mehrstufiger Ansatz verwendet. Sie werden sowohl auf der Ebene des Individuums als auch auf der Ebene des Haushalts abgebildet. Obwohl die Migrationsentscheidung individuell ist, wird sie vom sozioökonomischen Status des Haushalts, insbesondere vom Haushaltsvermögen, beeinflusst. Am Jahresende ermittelt der Haushalt sein Vermögen und vergleicht es mit dem Vermögen anderer Haushalte im gleichen sozialen Netzwerk. Liegt das Haushaltsvermögen unter einem bestimmten Schwellenwert (der von den Haushaltsmerkmalen abhängt), wählt der Haushalt die Person mit der höchsten Auswanderungsneigung aus. Die Migrationsneigung hängt vom Alter, Geschlecht und sozialen Netzwerk der Person ab. Jede Person im Modell ist mit einer Gruppe von Personen mit unterschiedlichen Migrationserfahrungen verbunden. Die Verbindung zwischen zwei Personen wird quantitativ gewichtet, um die Qualität ihrer Beziehungen darzustellen. Die Migrationsneigung einer Person ergibt sich aus der Summe der Gewichtungen der Beziehungen zu Migranten geteilt durch die Anzahl der Personen im sozialen Netzwerk der Person. Liegt die Migrationsneigung über einem bestimmten Migrationsschwellenwert, wird die Migrationsneigung berücksichtigt, andernfalls wird sie auf 0 gesetzt.

Die Wahl des Zielortes hängt von individuellen Kriterien ab (Bevölkerungsdichte, Beschäftigungsmöglichkeiten, klimatische Bedingungen, soziales Netzwerk usw.). Um die Zielwahl des Migranten zu modellieren, verwenden wir Entscheidungsregeln, die auf dem Konzept der begrenzten Rationalität basieren. Begrenzte Rationalität basiert auf der Annahme, dass der Akteur eher eine zufriedenstellende als eine optimale Lösung anstrebt und dass seine Rationalität auf begrenzten Informationen beruht. Die Ergebnisse des Modells zeigen die Bevölkerung (vorhergesagtes Bevölkerungswachstum), die Auswanderung (Anzahl der Menschen, die einen Ort verlassen haben), die Einwanderung (Anzahl der Menschen, die einen Ort verlassen haben), die Auswanderung (Anzahl der Menschen, die einen Ort verlassen haben) und die Veränderung der Bevölkerungsstruktur.

1.1.6 Workshops for ABM capacity building

Die UNB hat in Zusammenarbeit mit WASCAL und MiTraWa, einem weiteren Projekt im Rahmen von WRAP2, Workshops auf nationaler Ebene durchgeführt, um das ABM-Modell zu testen, Szenarien basierend auf den Erfahrungen von Migranten zu entwickeln, die Wechselwirkungen zwischen Migranten und ihrer Umwelt zu bewerten und Experten zu schulen. Zwei Ausschüsse wurden gebildet, um die an der Migration beteiligten Akteure zu identifizieren, Strategien zur Datenerhebung zu validieren und eine Datenbank aufzubauen. Der Informatikausschuss entwickelte Instrumente zur Quantifizierung von Migrationsströmen, Instrumente für Wissensaustausch und Integration sowie Instrumente zur Entscheidungsunterstützung. Das Modell berücksichtigt Motive wie die Suche nach einem besseren Leben, Eigeninteresse, Dorfentwicklung, Mangel an Ackerland und Familienkonflikte.

Die Berichte der Capacity-Building-Reihe wurden WASCAL für weitere Einzelheiten zur Verfügung gestellt.

1.1.7 MIGRAWARE Open Source Software Application (T4.2)

Basierend auf den BBN- und ABM-Modellen und ihrer Logik wurde ein Prototyp für eine Online-Anwendung entwickelt. Aufgrund von Verzögerungen bei der Projektimplementierung ist der Prototyp jedoch noch nicht allgemein verfügbar, obwohl die Partner der MLU und der UNB die Benutzeroberfläche und die Modelllogik basierend auf den integrierten Modellen bereits getestet haben.

Der Prototyp basiert auf fünf Migrationsvariablen, die aus dem beobachteten Verhalten und der BBN-Logik abgeleitet wurden: Alter, Geschlecht, Vermögen, Bildungsniveau und Migrationserfahrung. Diese dienen als Grundlage für die Beurteilung der Migrationsneigung. Zu den integrierten Funktionen gehören die Erstellung von Benutzerkonten, die Suche im MIGRAWARE-Literaturkatalog, der Import von Umweltvariablen (derzeit beschränkt auf Landnutzungsdaten) und die Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten für die voreingestellten Variablen.

Der entwickelte Prototyp stellt einen wichtigen Proof of Concept dar. Die Anwendung kann zur Weiterentwicklung und zukünftigen Aktualisierung an das WASCAL-Kompetenzzentrum (WASCAL CC) übertragen werden und bietet so die Möglichkeit, die ursprünglich geplante breitere Zielgruppe zu erreichen. Für die geplanten Aktualisierungen können die im Rahmen des Projektes erhobenen Geodaten und Vermessungsdaten genutzt werden, die aktuell über WADi verfügbar sind.

Im Folgenden werden die Entwicklungsschritte der Open-Source Anwendung durch die PiSolution GmbH detailliert beschrieben:

Zu Beginn des Projektes bestand noch keine Datengrundlage, auf deren Basis letztendlich die Open-Source-Anwendung entwickelt werden sollte. Für die Projektpartner wurde deshalb ein webbasierter Umfrageservice zur Erfassung der Daten (Datenanalyse von Umfragen) aus einer eigenentwickelten Softwarelösung bereitgestellt, dessen Ergebnisse zur Analyse von Migrationstrends eingesetzt wurden. Parallel dazu wurde die IT-Infrastruktur für die Datenerhebung (RZ-Server mit Webservice (Apache) und DBMS (MySQL)) bereitgestellt.

Im ersten Schritt erfolgte die Auswahl der Basistechnologie für die Umsetzung der bibliotheks-basierte Open-Source-Software und die Einrichtung der IDE für die Scriptsprache R.

Der für die Datenerhebung erstellte Prototyp der Umfrage wurde nach ersten Feldtests einer Revision unterzogen. Im laufenden Dialog mit den Projektpartnern wurden neue Anforderungsprofile erarbeitet (Januar bis Juni 2022). Die Umfrage wurde mit zur Erfassung der Umstände/ Hintergründe/ Rahmenbedingungen genutzt werden, die eine Rolle für Migrations-“Wünsche“ der Bevölkerung vor Ort darstellen. Die Möglichkeit zum Hochladen von Videos als Motivationsbaustein zur Nutzung der Umfrage wurde so angepasst, dass eine technologische Einschränkung durch die Nutzung vor Ort (Webnutzung) möglichst niedrigschwellig möglich war.

Die Projektpartner wurden bei der Auswertung und Bereitstellung der Umfrageergebnisse in geeigneter digitaler Form unterstützt.

Aufgrund der Verzögerungen bei der Modelllieferung wurden eigene Recherchen durchgeführt und Lösungs-Ansätze in Meetings mit den Projektpartnern diskutiert.

Im Ergebnis der Abwägungen wurde entschieden, die mit dem BBN abgebildete monodirektionale Perspektive (gegenseitige Beeinflussung einzelner Faktoren) mit einem agentenbasierten Ansatz zu koppeln. Agenten stellen in diesem Zusammenhang Individuen oder Gruppen von Individuen dar.

Die vom Projektpartner DLR für diesen Ansatz bereitgestellten Daten wurden einer Validierung für den geplanten Einsatzzweck unterzogen.

Im Zeitraum Februar bis April 2023 fanden regelmäßige Meetings in kurzen Zeitabständen mit den Projektpartnern zur Abstimmung des weiteren Vorgehens und zum Abgleich des Status statt.

Dabei wurden folgende Themen behandelt:

- Abstimmungen zum vorgeschlagenen Modell und der geplanten Umsetzung
- Abstimmung der Datenbereitstellung (Ansätze zur Optimierung der bereitgestellten Datensätze für den Einsatz in Test- und Entwicklungsszenarien, da für agentenbasierte Modelle kleine Ausschnitte benötigt werden)

Parallel dazu erfolgte eine Recherche von Optionen zur Umsetzung des Backend und Frontend, da eine Entwicklungsumgebung mit hoher Flexibilität in Bezug auf die Bibliotheksintegration erforderlich ist. In deren Ergebnis fiel die Entscheidung für den Einsatz von Python aufgrund der hohen Interoperabilität und des großen Ökosystems (betrifft Handling von Anzahl und Qualität von Bibliotheken) in Bezug auf diverse Simulationsfelder.

Im Zeitraum Mai – Juni 2023 wurde das Webfrontend auf der Basis von Python Django (Kommunikation des Webfrontend Client-Server, Darstellung html) und die Bibliothek für das Agentenmodell im Backend (Ablaufsteuerung der Agenteninteraktion) mit Python Mesa erstellt.

Entwicklung Agentenmodell mit Integration des BBN:

Bei der Modellentwicklung wurde in Abstimmung mit den Partnern ein hybrider Ansatz verfolgt, welcher die Reaktion der Agenten auf Umwelt- und andere Einflüsse und der Agenten untereinander beinhaltet. Das BBN wird zur Entscheidungsfindung für die Agenten anhand der Eingabeparameter eingesetzt. Die Ergebnisse der Interaktionen dienen der Modellanpassung für die weitere Entwicklung.

Im Zeitraum Juli – August/September 2023 erfolgte die Entwicklung der Demoanwendung der Weboberfläche unter Zugrundelegung der Bibliotheken und der Darstellung erster Simulationsläufe.

Im ersten Schritt wurde die Interaktion von Demo-Agenten über lokale Distanzen umgesetzt. Hierfür erforderlich war eine grundlegende Administration der Simulation (hinzufügen und entfernen von Agenten). Die einzelnen Simulationsschritte werden auf der Weboberfläche simuliert.

Parallel dazu erfolgten administrativen Arbeiten zur Bereitstellung der angepassten IT Infrastruktur und Recherchen.

Bereitstellung Datengrundlage über eine Demo-Plattform mit folgenden Inhalten:

- BBN + Administration der Modellparameter der Agenten zur Visualisierung der Ergebnisse auf der Web-OF
- Recherche Actormodell zur Umsetzung der Agenten-/Simulation (Kommunikation zwischen Agenten (Messagepassing) + Überwachung), da Mesa keine direkte Interaktion der Agenten darstellen kann (Ziel: Erweiterung der MESA-Bibliothek)

- Ablaufsteuerung Simulation (Agentenaktion je Runde) / Synchronisation; Synchronisation Frontend mit Backend (Darstellung der Interaktionen und Positionsänderungen)

Im Zuge der Entwicklungen erwies sich ein Wechsel auf das Webframework Python Flask als erforderlich, um eine höherer Flexibilität bei der Bearbeitung von Simulationsschritten zu erreichen.

Es wurden erste Umsetzungen zur "Echtzeit" - Visualisierung von Simulationsschritten durchgeführt mit der Integration von Beispielagenten mit einfachem (untrainiertem) Neuronalem Netz (als Platzhalter und Ergänzung zum BBN für Entscheidungsfindung für das spätere BBN). Für die Fortführung der weiteren Entwicklungen erfolgten Recherchen bezüglich der Speicherung interner Zustände, die das "Gedächtnis" für Agenten abbilden, um die Entscheidungsfindung anhand vorheriger Entscheidungen zu simulieren (Eigenschaften / Felder des Agenten selbst, Recurrent Neural Network (RNN), Long short-term Memory).

Weitere Aufgaben bestanden hinsichtlich der Optimierung bei der Erzeugung großer Datenmengen (Datenstruktur, Verarbeitung- Performance- Optimierung), Fehlerbehebungen, Recherchen, Modellvergleichen und der Erweiterung von Massentests.

Während der Entwicklungsphase erfolgten in Abstimmung mit den Projektpartnern fortlaufende Aktualisierungen der Regeln und Abstimmung der Ergebnisse.

Im Testsystem konnten bereits verschiedene Durchläufe mit unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt werden, mit denen geprüft wurde, inwieweit unterschiedliche Startkonfigurationen zu unterschiedlichen Ergebnissen führten. Parallel erfolgte die Prüfung / Recherche zur Verwendung von WebGL-Shadern zur besseren Darstellung der Agentenbewegung. Bei der WebGL handelt es sich um eine Bibliothek zur optimierten Darstellung (komplexer) Objekte / Graphen unter direkter Verwendung der Grafikkarte des Systems. Ziel war die Erhöhung der Performance bei der Darstellung und weniger Ressourcenverbrauch auf Seiten des Anwenders aber auch auf Serverseite.

Es wurden neue Versionen von den verwendeten Bibliotheken eingespielt.

Für die Präsentation von Ergebnissen wurde eine Demo-Plattform aufgesetzt (Server im RZ), die Anwendung eingerichtet (Webservice) und den Partnern mit Zugriff zur Verfügung gestellt.

Für ein besseres / intuitives Handling für den Nutzer wurden Änderung der Agenten- Verwaltung auf der Oberfläche vorgenommen.

Im fortlaufenden Entwicklungsprozess war es erforderlich, die neuen Versionen, die entsprechend der Phase der Modellentwicklung und Datenbereitstellung entstanden, einem fortlaufenden Test- Optimierungs- und Fehlerbereinigungsprozess und Layoutanpassungen zu unterziehen.

Um das Handling großer Datenmengen und die Verringerung der Serverlast zu erreichen, wurden fortlaufen Möglichkeiten zur schnelleren Berechnung der Simulationsschritte geprüft und umgesetzt. Dies beinhaltete zB die Entfernung von FlaskMeld, was ursprünglich zur Echtzeitkommunikation und Erreichen einer bidirektionalen Verbindung zwischen Server und Client vorgesehen war. Bei den Test wurde jedoch festgestellt, dass die Kommunikation (Request / Response) über AJAX (Asynchronous Javascript und XML) den gleichen Effekt erzielt und Versionskonflikte ausgeräumt werden konnten.

In der Open-Source-Anwendung spielen zur Untersuchung von Migrationshintergründen u.a. Landnutzungsdaten eine herausragende Rolle. Die Fa. Polution besitzt mit der Anwendung OSM4GISGAME eine leistungsstarke Webanwendung, welche in der Lage ist, GIS-Daten inkl. Layern zu importieren, zu bearbeiten und zur Nutzung bereitzustellen. In die Software wurde

eine Schnittstelle integriert, mit welcher Daten aus OSM4GISCAME zur Nutzung in der Open-Source-Anwendung bereitgestellt werden können.

Damit können die importierten Karten mit Agenteneigenschaften versehen werden. Die Regionen der Karte können mit Faktoren versehen werden. Diese Faktoren können dann in den Berechnungen des Simulationsschritts einfließen. Ein Beispielfaktor ist zB „bevorzugte Regionen“, welcher einen gewichtigen Faktor für die Simulation der Migrationsbewegung darstellen kann.

Im Zuge der Performance- Optimierung wurde anschließend die Darstellung der Agentenbewegung über den Frontendprozess umgesetzt. Statt der Nutzung von vorgeordneten SVG werden nun nur die Koordinaten übergeben und im Frontend dargestellt.

Neben fortlaufenden Aktualisierungen wurden zur bessern Visualisierung der Farbcodes der Landnutzungen angepasst und eine Visualisierung von Regel-Problematiken eingeführt.

Zur besseren Verfolgung von Simulationsschritten wurde eine Animation der Simulationssteps eingeführt (Verfolgung von Agentenbewegungen über mehrere Stationen).

Im weiteren Zuge der Darstellung der Migrationsbewegungen wurde eine Konfiguration für den Einfluss von Landnutzung auf Agentenverhalten (global distance) eingeführt. Damit kann über die Einstellung der Konfigurationsparameter das Verhalten der Agenten simuliert werden, wenn Einflüsse als Faktor hinterlegt sind bzw. ohne das Vorliegen von Einflussfaktoren. Durch diesen Simulationsschritt ist es möglich, die Funktionsweise der Software unter definierten Einflussfaktoren mit erwarteten Modellergebnissen aus empirischen Betrachtungen abzugleichen und damit die Funktionsweise der Open-Source-Software zu „härten“.

Weiterhin wurde die Berechnung des Einflusses des Landnutzungstyps in einen Zwischenschritt ausgelagert, um bei einer Änderung der Konfiguration das Ergebnis ohne erneute Berechnung nutzen zu können, was zu einer erheblichen Verkürzung der Bearbeitungszeiten führte.

Zur Ergebnisverbesserung der Darstellung der Agentendichte musste der Berechnungsalgorithmus zur Berechnung des Abstand zwischen Agenten geändert werden. Die Zugrundelegung der Gauss-Kurve hatte den Nachteil, dass durch das definierte Maximum keine korrekte Darstellung sehr dichter Cluster möglich war. Die jetzt angewandte additive Methode hat kein (theoretisches) Maximum für den Dichtewert und ermöglicht eine korrektere Darstellung bei dichten Clustern.

Im Zuge der Weiterentwicklung wurde die Einführung eines Entity-Component-System als übergeordnetes System zur technischen Darstellung von Agenteneigenschaften geprüft . Dieses sollte die Konfigurierbarkeit vereinfachen und eine weitere Performanceoptimierung mit sich bringen.

Erläuterung: ECS: Entity-Component-System. Softwarearchitektur, in der eine Trennung zwischen Daten (Components) und Verarbeitung (Systems) erfolgt. Die Entitäten können aus einer oder mehr Komponenten bestehen, die Systeme sind Funktionen, die anhand der Komponenten Entitäten auswählen und diese Entitäten manipulieren können. Als Beispiel kann eine Entität die Komponente „Alter“ haben. Darauf können dann mehrere System reagieren (z.B. das Fortschreiten des Alters, das „Sterben“ der Entität (Anhand Mortalitätsdaten je Altersgruppe)).

Zur besseren Nutzbarkeit wurde in die Open-Source Software eine Nutzerverwaltung mit folgenden Eigenschaften implementiert:

- Rollen für Webanwendung - Rollen in Webprojekt
- Rechte

Für den Prototypen wurde festgelegt, dass die Nutzer der Anwendung vorgefertigte Simulationen starten können mit unterschiedlichen Konfigurationen, aber im ersten Schritt erst einmal keine neuen Simulationen anlegen können. Diese Möglichkeit kann bei weiteren Entwicklungen vorgesehen werden.

In der Software wurden neue Eigenschaften für Agenten (Alter, Geschlecht) und ein System zur Mortalität (als Beispielfunktion zur Demonstration der Funktionsweise der Software) hinterlegt. Im BBN kann mit diesen Anpassungen die Wahrscheinlichkeit von Migration simuliert werden.

Erläuterung:

Eigenschaften der Agenten sind Komponenten im ECS. Das System zur Mortalität ist eine neue Funktion, die auf die Eigenschaft „Alter“ reagiert.

BBN: Bayesian Belief Network: Netzwerk zur Entscheidungsfindung auf Grund von Wahrscheinlichkeiten zwischen Zuständen (Netzwerkdefinition) und Fakten (tatsächliche Zustände in der Simulation / Agent). In dem ECS-System wurde das als Platzhalter eingesetzte neuronale Netzwerk durch das BBN ersetzt.

Im letzten Schritt wurde im Prototypen das Logging von Simulationsschritten und die Anzeige im Frontend, eine einfache Textausgabe der Systeme (z.B. Mortalität) in das Frontend für jeden Simulationsschritt, und die Einbindung einer Graphik-Bibliothek zur Visualisierung von Simulationsschritten / -ergebnissen implementiert.

Als Beispiel wurde eine Alterspyramide implementiert, die für jeden Simulationsschritt erstellt wird, um die Verteilung der Altersklassen gut sichtbar zu machen.

Über eine Schnittstelle erfolgte die Einbindung einer Literaturrecherche-API, die die Möglichkeit der Literaturrecherche aus der Anwendung heraus ermöglicht.

2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Dieses Forschungsprojekt untersuchte zentrale Fragen zum Zusammenspiel von Faktoren und Treibern von Migration sowie zu Migrationsprozessen und -mustern. Ein besonderer Fokus lag auf der Rolle sozialer Netzwerke und Akteursbeziehungen, die Migrationsentscheidungen beeinflussen können. Die gewonnenen Erkenntnisse zielen darauf ab, eine Strategie zu entwickeln, die die analytischen Fähigkeiten von Studierenden, Forschenden und staatlichen Institutionen stärkt. Zu diesem Zweck werden moderne, innovative Instrumente und Schulungen bereitgestellt, um die Zusammenhänge zwischen Migration und Klimawandel zu verstehen und gezielte Maßnahmen zur Reduzierung des Einflusses von Umweltfaktoren als Treiber irregulärer Migration zu ergreifen. Die Projektarbeit und die eingesetzten Ressourcen wurden eng auf die jeweiligen Arbeitspakete und die angestrebten Ergebnisse abgestimmt.

Das Projekt lieferte wichtige Erkenntnisse und Ergebnisse, die dazu beitragen werden, das Verständnis zu vertiefen und die Reaktionsfähigkeit von Regierungen auf umwelt- und damit klimabedingte Migration zu verbessern.

Die folgenden Punkte fassen die wichtigsten Ergebnisse zusammen:

- Aufbau einer Literaturrecherche-API zur Klimawandel und Migration in Westafrika
- Identifizierung aktueller Migrationsmuster und -prozesse
- Dokumentation bestehender Migrationspfade und -dynamiken
- Kartierung und Dokumentation räumlicher Proxy-Indikatoren zur Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen Migration und Klimawandel

- Nachweis der Aussagekraft räumlicher Datensätze für die Kartierung aktueller und potenzieller zukünftiger Migrationsbewegungen in Ghana und Nigeria – insbesondere in ländlichen, landwirtschaftlich geprägten Regionen
- Anwendung einer gewichteten Overlay-Analyse zur Ermittlung der ungünstigsten Faktoren und zur Identifizierung potenzieller Migrations-Hotspots
- Analyse der Rolle sozialer Medien bei Migrationsentscheidungen durch Auswertung geokodierter Tweets aus Herkunfts- und Zielregionen
- Aufbau einer nationalen Umfragedatenbank zu Migrationsfaktoren und -treibern sowie Identifizierung von Migrations-Hotspots in agroökologischen Zonen in Ghana, Nigeria und Burkina Faso
- Identifizierung von Gebieten mit besonderem Migrationsrisiko in Nordghana und Nordnigeria aufgrund der kombinierten Auswirkungen von Gefährdung, Vulnerabilität und Exposition.
- Erstellung einer großflächigen Geodatenbank zur Visualisierung lokaler und grenzüberschreitender Migrationsbewegungen in der westafrikanischen Subregion.
- Entwicklung und Validierung eines Governance-Rahmens für die Steuerung der Migrationspolitik durch partizipative Bottom-up-Prozesse mit Fokus auf Migranten.
- Implementierung eines innovativen Citizen-Science-Ansatzes mithilfe eines mobilen Toolkits zur Erfassung und Kartierung von Migration und zur Schließung von Datenlücken.
- Entwicklung eines Modells zur Analyse der Auswirkungen verschiedener Migrationsfaktoren auf Entscheidungsprozesse, bestehend aus einem Bayesianischen Belief Network (BBN) und einem agentenbasierten Modell (ABM).
- Entwicklung eines Prototypes einer Open Source Software zur Simulation und Analyse von Migrationsszenarien, bestehend aus einem Entity-Component-System (ECS), einem Bayesianischen Belief Network (BBN) und einem agentenbasierten Modell (ABM) mit API zur Literaturliteraturdatenbank
- Durchführung einer räumlichen Klimarisikobewertung für Ghana zur Identifizierung von Vulnerabilitäts-Hotspots und potenziellen Migrationsregionen.

Zahlreiche Partner und Regierungsinstitutionen konnten von den Ergebnissen des MIGRAWARE-Projekts profitieren. So stellten beispielsweise sowohl die nigerianische Einwanderungsbehörde als auch der ghanaische Statistikdienst Mitarbeiter zur Verfügung, die in der mobilen CS-Anwendung zur Erfassung von Migrationsdaten geschult wurden. Beide Institutionen planen, diese Anwendung zu nutzen, um bestehende Lücken in den Migrationsdaten ihrer Länder zu schließen. Ghana plant, die Anwendung zur Ergänzung bestehender Datensätze einzusetzen. Nigeria betrachtet die Anwendung als zentrales Instrument zur Erhebung von Informationen über reguläre und irreguläre Migration. Dies ist insbesondere angesichts des Mangels an Volkszählungsdaten von Bedeutung. Von großem Nutzen waren die Programme zum Kapazitätsaufbau, die Schulungen zu Fernerkundungstechniken zur Kartierung von Urbanisierungs- und Migrationstrends, Social-Media-Techniken zum Verständnis von Migrantenakteuren und -netzwerken sowie eine Reihe von Workshops zum CS-Prozess für Studierende, Regierungsbehörden und Projektpartner umfassten. Der Erfahrungsaustausch der begünstigten Akteure trägt dazu bei, das Wissen über die Notwendigkeit der Abschwächung der Auswirkungen von Umweltfaktoren unter Entscheidungsträgern zu verbreiten und den Wettbewerbsvorteil der Institutionen bei der Nutzung und Verbreitung der Projektergebnisse zu stärken. Dadurch wird die Sichtbarkeit des Projekts gewährleistet, seine Nachhaltigkeit sichergestellt und die Fähigkeit der begünstigten Institutionen verbessert, zukünftige Forschungsmöglichkeiten im Bereich Migration und Klimawandel zu fördern und zu sichern.

Um den erwarteten Nutzen voll auszuschöpfen, wurden die in Tabelle 10 dargestellten Empfehlungen aus den Veröffentlichungen und der Beteiligung der Interessengruppen am Projekt abgeleitet.

Tabelle 10: Politische Empfehlungen für Regierungen/politische Entscheidungsträger. Die Vorschläge wurden größtenteils aus den Ergebnissen der Forschung und der Beteiligung von Interessengruppen in den Forschungsländern abgeleitet.

Project-related findings	Recommended action
Rural areas are particularly affected by environmental hazards, socio-economic vulnerability and the resulting exposures.	<p>Development of targeted measures by governments with the involvement of local populations to strengthen adaptive capacity and support sustainable migration</p> <p>Promotion of measures resulting from local engagement with potential migrants, returnees, traditional authorities and actors in the migration chain</p>
Migration is influenced by climate and environmental factors	<p>Linking remote sensing data with local knowledge by urban planners and decision-makers to map migration hotspots</p> <p>Introduction of measures for sustainable land management to ensure that the rural population can remain in their place of residence</p> <p>Develop policies that focus on the positive potential of migration for sustainable development</p> <p>Using spatial analysis, remote sensing and social media to improve understanding of migration and its causes</p> <p>Continuation and expansion of existing environmental strategies (e.g. green policies in Ghana and Burkina Faso), in particular by promoting agroforestry practices</p> <p>Creating a legal framework to promote long-term investments on leased or common land and improving land use rights</p>
Migration governance	Recognizing migrants as key development actors while at the same time taking into account their particular vulnerability
Citizen Science Application	<p>Establishment and use of institutional and multi-stakeholder partnerships to expand the mobile CS application in order to better capture environmental factors and drivers. This serves the implementation of SDG 17</p> <p>Promotion of cooperation with scientifically based projects such as MIGRAWARE to supplement national migration data</p> <p>Establishing and equipping a multidisciplinary planning team to use spatial information on migration factors (e.g. fire, precipitation, droughts, floods) to enable targeted measures to be taken</p>
Social media and migration	Establishment of mechanisms to control and verify migration-related content in social networks

	<p>Cooperation between government and science to promote controlled access to social media for the dissemination of climate-related information</p> <p>Use of social media to coordinate safe migration routes and disseminate reliable information on environmental impacts in migration hotspots in the project countries</p>
--	---

3. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Zur Synthese und Analyse der Forschungsergebnisse aus anderen Arbeitspaketen wurden agentenbasierte Modelle und Bayesianische Glaubensnetzwerke getestet. Ein konzeptioneller Rahmen für Faktoren, die Migrationsentscheidungen beeinflussen, wurde entwickelt. Arbeitspaket 4 nutzte unter anderem Daten aus den Arbeitspaketen 1–3 als Input. Aufgrund von Verzögerungen bei der Erhebung von Felddaten der Projektpartner infolge der anfänglichen Reisebeschränkungen durch Covid-19 und der Sicherheitswarnungen des Auswärtigen Amtes für Burkina Faso und Nigeria konnte lediglich ein Prototyp der übergreifenden Open-Source-Analysesoftware entwickelt werden. Diese Online-Anwendung wurde erfolgreich getestet und bildet die Grundlage für die Weiterentwicklung in Zusammenarbeit mit dem WASCAL-Kompetenzzentrum und afrikanischen Partnerinstitutionen.

Der Prototyp der Open Source Software steht für spätere Weiterentwicklungen, insbesondere für den Einsatz weiterer wissenschaftlicher Arbeiten im Kontext der Analyse von Migrationsbewegungen zur Verfügung. Durch den gewählten generischen Ansatz können jederzeit Erweiterungen und die Implementierung neuer Funktionen und Datengrundlagen erfolgen. Generell ist auch der Einsatz in weiteren Forschungsgebieten denkbar, deren Fragestellungen durch Ausführung von Simulationen bearbeitet werden können.

4. Des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Laufe des Projekts wurden Publikationen anderer Arbeitsgruppen zu den wissenschaftlich bearbeiteten Themen veröffentlicht. Diese hatten jedoch keinen Einfluss auf das Projekt oder die weitere Nutzung der Projektergebnisse.

5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Veröffentlichungen sind ggf. im Rahmen der Veröffentlichung der übergreifenden Projektergebnisse vorgesehen.

5.1. Referenzen

Frank, S., Fürst, C., Pietzsch, F., 2015. Cross-Sectoral Resource Management: How Forest Management Alternatives Affect the Provision of Biomass and Other Ecosystem Services. *For-ests* 6, 533-560.

Davidsson, C., Fürst, C., König, H., Ende, H.-P., Pietzsch, K., Pietzsch, F., Abiy, M., Makeshin, F. (2008): Procedures for developing an interactive tool for supporting land-use management planning - a stakeholder-based approach, *Impact Assessment of Land Use Changes*, Book of Abstracts, 243.

Technologische Entwicklung der GISCAMÉ-Suite und der OSM4GISCAMÉ -Plattform

Projektreferenzen GISGAME:

- WASCAL (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_wascal.html)
 - RegioPower (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_regiopower.html)
 - REGKLAM (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_regklam.html)
 - IWAS (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_iwas.html)
 - KLIMAFit (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_klimafit.html)
 - KIDS (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_kids.html)
 - ZALF (https://giscame.com/giscame/deutsch_projekte_zalf.html)
-
- LandYOUs
 - ProVision
 - Lebendif Luppe
 - TrainForEducation
 - Enforchange