



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Mariusz Baldowski

Räumliche Analyse mit spatialen Indikatoren

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Mariusz Baldowski

Räumliche Analyse mit spatialen Indikatoren

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung

im Studiengang Master of Computer Science
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Thomas Thiel-Clemen
Zweitgutachter: Prof. Dr. Stefan Sarstedt

Eingereicht am: 21. Juli 2014

Mariusz Baldowski

Thema der Arbeit

Räumliche Analyse mit spatialen Indikatoren

Stichworte

Räumliche Analyse, Spatiale Indikatoren, Geoinformationssystem, Datenintegration, Geodatenverschneidung, objektorientierte Bildanalyse, Klimawandel, Togo

Kurzzusammenfassung

Um die konstante Komplexitätserhöhung von ökologischen und gesellschaftlichen Prozessen zu messen und zu überwachen, werden innovative Methoden benötigt, welche räumliche Eigenschaften und Gegebenheiten berücksichtigen. In dieser Arbeit wird untersucht, wie spatiale Indikatoren für die räumliche Analyse verwendet werden können, um diese Probleme zu adressieren. Des Weiteren wird die Geodatenverschneidung und die Entwicklung von spatial gemischten Indikatoren beleuchtet, mit denen Gefahrenherde und Hotspots beschrieben werden können, wodurch sie zu wichtigen Entscheidungshilfen werden.

Mariusz Baldowski

Title of the paper

Regional analysis with spatial indicators

Keywords

Spatial analysis, spatial indicators, geographic information system, data integration, spatial intersection, object-based image analysis, climate change, Togo

Abstract

To measure and monitor the constant increase in complexity of ecological and social processes innovative methods are needed which take spatial characteristics and circumstances into account. In this work, it will be investigated how spatial indicators can be used for spatial analysis to address these problems. Furthermore, the intersection of spatial data and the development of spatial mixed indicators will be used to describe hot spots, thereby becoming important decision support.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	vii
Quelltexte	ix
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Ziele der Arbeit	3
1.3. Abgrenzungen	3
1.4. Aufbau der Arbeit	4
2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft	5
2.1. Geoinformationssystem	5
2.1.1. Räumliche Datenmodelle	6
2.1.1.1. Rasterdaten und Bilder	6
2.1.1.2. Vektordaten	16
2.1.1.3. Darstellung von Daten	17
2.1.1.4. Zusammenfassung	18
2.1.2. Georeferenzierung und Projektionen	20
2.1.3. Formate	20
2.1.3.1. GeoTIFF	21
2.1.3.2. Erdas Imagine	21
2.1.3.3. Shapefile	21
2.1.3.4. GeoJSON	21
2.1.4. Layer-Modell	22
2.2. Geodatenquellen	23
2.2.1. Abbildung der Ökosysteme von Afrika	23
2.3. Standards und Geobibliotheken	26
2.3.1. OGC	26
2.3.1.1. Web Map Service	26
2.3.1.2. Web Feature Service	26
2.3.1.3. Geospatial Data Abstraction Library	27
2.3.1.4. DotSpatial	27
2.4. Aktueller Forschungsstand	27

2.4.1. Spatiale Indikatoren	28
2.4.2. Geoinformationssystem	30
2.4.3. Web-GIS	30
2.4.4. Geodatenmanagement	30
3. Analyse	32
3.1. Werkzeuge zur Verarbeitung	32
3.1.1. Quantum GIS	32
3.1.2. GRASS GIS	33
3.1.3. GeoServer	34
3.1.4. OpenLayers	35
3.1.5. Google Earth und NASA World Wind	36
3.1.6. Zusammenfassung	36
3.2. Spatialer Indikator	38
3.2.1. Segmentierung	38
3.2.2. Klassifizierung	38
3.2.3. Verschneidung - Spatial gemischte Indikatoren	38
3.3. Web-GIS	39
3.3.1. Geodatenmanagement	40
3.4. Anforderungsanalyse	41
3.4.1. Fachliche Anforderungen	41
3.4.2. Technische Anforderungen	43
3.4.3. Integration	44
4. Entwurf	45
4.1. MARS	45
4.1.1. Geoinformationssystem - MARS-GROUND	46
4.1.1.1. Geodatenmanagement - GeoServer	47
4.1.1.2. GeoTools	47
4.1.2. Datawarehouse - MARS-ROCK	47
4.1.3. Fassade - MARS-SHUTTLE	48
4.1.4. Simulationskern - MARS-LIFE	48
4.1.5. Visualisierung - MARS-VIS	48
4.1.6. Web-GIS - MARS-DEIMOS	48
4.1.7. Relevantes System	49
4.2. Anwendungsfälle	49
4.2.1. Datenintegration	49
4.2.2. Datenerhalt	51
4.2.3. Geodatenverschneidung	52
5. Realisierung	54
5.1. Datenintegration	54

5.2. Datenerhalt	54
5.2.1. GeoServer und WMS für Rasterdaten	55
5.2.2. GDAL für Rasterdaten	62
5.2.3. GeoServer und WFS für Vektordaten	64
5.2.4. DWH für Vektordaten	65
5.2.4.1. Georeferenzierung	65
5.2.4.2. Schnittstelle	67
5.2.5. Zusammenfassung	67
5.3. Web-GIS	68
5.4. Geodatenverschneidung	71
5.4.1. Raster und Raster	71
5.4.2. Raster und Vektor	71
5.4.3. Vektor und Vektor	72
6. Experiment	74
6.1. Beschreibung des Untersuchungsgebiets	74
6.2. Vorgehensweise	76
6.2.1. Anwendungsfall 1 (A1): Ermittlung der Relation zwischen Baum- biomasse und NDVI	78
6.2.2. Anwendungsfall 2 (A2): Ermittlung von Bäumen für ein unbe- kanntes Areal mit Hilfe des NDVI	78
6.3. Durchführung	80
7. Diskussion	86
7.1. Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die aufgestellten Hypothesen	86
7.2. Offene Probleme	87
7.3. Ausblick	87
A. Anhang	89
B. Inhalt der DVD	91
Literaturverzeichnis	92
Abkürzungsverzeichnis	98

Tabellenverzeichnis

2.1. Direkter Vergleich zwischen kleineren und größeren Zellen	11
2.2. Vor- und Nachteile der Datenmodelle	19
2.3. GeoJSON Beispiele	22
3.1. Vor- und Nachteile der Geo-Werkzeuge	37
5.1. Parameter für die <i>GetMap</i> -Schnittstelle	56
5.2. Parameter für die <i>GetFeatureInfo</i> -Schnittstelle	57
5.3. Parameter für die <i>GetFeatureInfoBox</i> -Schnittstelle	58
5.4. Ausführungsdauer der Anfragen für die <i>GetFeatureInfoBox</i> -Schnittstelle	60
5.5. Parameter für die <i>GetValuesInPolygon</i> -Schnittstelle	64
5.6. Parameter für die <i>GetFeature</i> -Schnittstelle	65
5.7. Zusammenfassung für den Datenerhalt von Geodaten	68
6.1. Bereinigte Daten für den Abdoulaye Forest, Togo (Auszug aus der Excel-tabelle)	80
A.1. Gesammelte Daten für den Abdoulaye Forest, Togo (Auszug aus der Excel-tabelle)	90

Abbildungsverzeichnis

2.1. Zellen in einem Raster. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	6
2.2. Orthofotografisches Rasterbild als Grundkarte für Straßendaten. Quelle: Google Maps	8
2.3. Oberflächenkarte in Form einer Höhenkarte der Alpen. Quelle: Wetter- zentrale.de	8
2.4. Thematische Karte der Vegetationstypen von Australien. Geändert nach Carnahan (1977)	9
2.5. Bild eines großen alten Baumes als Beschreibung eines Objekts	10

2.6. Repräsentation der Zellwerte für eine Zelle. Quelle: Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	11
2.7. Räumliche Auflösung für unterschiedliche Zellgrößen. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	12
2.8. Darstellungen von einbändigen Raster. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	13
2.9. Darstellung mehrbändiger Raster und Repräsentation im elektromagnetischen Farbspektrum. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	14
2.10. Attributtabelle für Raster-Datasets. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	15
2.11. Schichten der Raster-Pyramiden. Quelle: WebGL Earth	15
2.12. Darstellung von Punkten. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	17
2.13. Darstellung von Linien. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	18
2.14. Darstellung von Polygonen. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	18
2.15. Unterschiedliche GIS-Layer übereinander gelegt. Quelle: NCDDC und NOAA	23
2.16. Bioklimate. Quelle: USGS RMGSC	24
2.17. Geländeoberfläche (links), Topographische Lage (rechts). Quelle: USGS RMGSC	25
2.18. Oberflächenlithologie (links), Beschriftete Ökosysteme (rechts). Quelle: USGS RMGSC	26
2.19. Punktinterpolation. Quelle: ArcGIS Online-Dokumentation	28
2.20. Anpassung an den Klimawandel. Geändert nach: Hagenlocher u. a. (2014)	29
2.21. Exemplarische Darstellung des Stern-Schemas. Quelle: Thiel-Clemen (2013)	31
3.1. Verschiedene Layer im Quantum GIS	33
3.2. Oberfläche des GRASS GIS	34
3.3. Weboberfläche des GeoServer und OpenLayers Export	35
3.4. Verschneidung von Rasterdaten mittels CCCI	39
3.5. Architektur eines Web-GIS. Quelle: Bandyophadyay u. a. (2012)	40
4.1. Komponentenarchitektur des MARS-Systems	46
4.2. Komponentenarchitektur des relevanten Systems	50
4.3. Importierung und Integrierung von Geodaten	50
4.4. Erhalt von Geodaten	52
4.5. Verschneidung und Erstellung von Geodaten	53
5.1. Importierung von Geodaten in den GeoServer	55
5.2. Erhaltene Rasterkarte mit Hilfe des WMS vom System	56
5.3. Visualisierung eines Höhenmodells mit Hilfe der Raster-Schnittstellen	60
5.4. Größe und Zeit zur Rastergröße	61
5.5. Größe und Zeit im Verhältnis der Rastergröße	61
5.6. Größe und Zeit im Verhältnis zur Feature-Anzahl	62

5.7. Approximierung eines Polygons durch <i>Quads</i>	66
5.8. Webclient des Systems	69
5.9. Webclient des Systems	70
5.10. Verschneidung von Rasterdaten	71
5.11. Punkt-In-Polygon. Geändert nach Chang (2006)	72
5.12. Linie-In-Polygon. Geändert nach Chang (2006)	72
5.13. Polygon-In-Polygon. Geändert nach Chang (2006)	73
6.1. Untersuchungsgebiet im AWR. Quelle: Pereki u. a. (2014)	75
6.2. Vorgehensweise des Experiments	79
6.3. Darstellung der Stichprobe	81
6.4. Ermittlung der Baumbiomasse pro Patch	82
6.5. Verschneidung von Rasterkarten. Links: Rotanteil, Rechts: Infrarotanteil, Unten: NDVI. Quelle: Pereki u. a. (2014)	83
6.6. Patches mit Biomasse ohne Bäume	84
6.7. Verteilung der Biomasse auf Bäume und Ermittlung der Attribute	85
A.1. Legende für die beschrifteten Ökosysteme	89

Quelltexte

5.1. <i>GetMap</i> -Webanfrage	56
5.2. <i>GetFeatureInfo</i> -Webanfrage	57
5.3. Zurückgegebenes <i>GetFeatureInfo</i> -Datenset	58
5.4. <i>GetFeatureInfoBox</i> -Webanfrage	59
5.5. Zurückgegebenes <i>GetFeatureInfoBox</i> -Datenset	59
5.6. Datenerhalt von Rasterinformationen mit GDAL und DotSpatial	63
5.7. POST-Datensatz für die <i>GetValuesInPolygon</i> -Schnittstelle	64
5.8. Zurückgegebenes <i>GetValuesInPolygon</i> -Datenset	64
5.9. API von MARS-ROCK	67
6.1. Polygon für die <i>GetDataByJsonArea</i> -Anfrage	80
6.2. NDVI-Werte der <i>GetValuesInPolygon</i> -Schnittstelle	82
6.3. Berechnung der Biomasse anhand des NDVI	84

1. Einleitung

Globale Herausforderungen erfordern ein erweitertes räumliches und integriertes Verständnis von möglichen Schadensquellen. Um die konstante Komplexitätserhöhung von ökologischen und gesellschaftlichen Prozessen zu messen und zu überwachen, werden innovative Methoden benötigt, welche räumliche Eigenschaften und Gegebenheiten berücksichtigen. Ein Geoinformationssystem (GIS) ermöglicht es, mit einer Auswahl verschiedener Programme und Werkzeuge geographische Daten zu erstellen, zu visualisieren, abzufragen und zu analysieren. Spatiale Indikatoren, wie sie in GIS erstellt werden, können für die räumliche Analyse verwendet werden, um diese Probleme zu adressieren. So werden spatiale Indikatoren bereits in der Landnutzung, Sicherung von Naturschutzflächen und dem Zerfall der biologischen Artenvielfalt (Vgl. Sell (2006); Gloucester (2011); Sparks u. a. (2011)) für Entscheidungen herangezogen und erleichtern die Planung und Prävention von Gefahrenquellen zunehmend.

Eine aktuelle Weiterentwicklung ist der Spatial gemischter Indikator (SGI) (Vgl. Hagenlocher u. a. (2014)). Mit Hilfe von intelligenten GIS-Verschneidungsoperationen können aus einzelnen Subindikatoren SGI gebildet werden, indem die Datensätze homogenisiert und anschließend mittels arithmetischer Formeln kombiniert werden. Mit Hilfe dieser Indikatoren können Gefahrenherde, sogenannte *Hotspots*, anhand der vorhandenen Daten identifiziert werden.

Problematisch bei diesem Ansatz ist jedoch die starre Segmentierung der Untersuchungsgebiete und die einhergehende Ermittlung der jeweiligen Subindikatoren zur Bestimmung des SGI. Insbesondere die Verschneidung von punktuellen / temporalen Informationen und spatial heterogenen Daten bleibt unberücksichtigt.

1.1. Motivation

Eine steigende Anzahl von Menschen auf der ganzen Welt wird zunehmend von verschiedenen Naturereignissen, wie Überschwemmungen, Dürren, Stürmen, Waldbränden, Erdbeben und Tsunamis geplagt, wie aus aktuellen Statistiken der *International*

1. Einleitung

Disaster Database hervorgeht (siehe [Louvain \(2012\)](#)). Besonders hoch sind Entwicklungsländer betroffen, welche durch vorherrschende Schwachstellen gefährdet sind.

Unter Wissenschaftlern besteht kein Zweifel, dass "Afrika einer der am meisten gefährdeten Kontinente" ist, welcher "insbesondere durch den Klimawandel und Klimaschwankungen" und die "niedrige Anpassungsfähigkeit" bedroht wird. ([Parry u. a. \(2007\)](#))

Die Multi Agent Research and Simulation ([MARS](#))-Forschungsgruppe an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften ([HAW](#)) Hamburg beschäftigt sich mit der Durchführung von Simulationen in interdisziplinären Projekten ([Hüning u. a. \(2014\)](#)). Die [MARS](#)-Forschungsgruppe entwickelt Multi-Agenten basierte Simulations-Systeme für hochskalierte Szenarien mit mehreren tausend Individuen. Diese Arbeit wurde im Rahmen des [MARS](#)-Projekts geschrieben.

In Rahmen des [MARS](#)-Projekts entsteht auch die Doktorarbeit von Hodabalo Pereki ([Pereki u. a. \(2014\)](#)), welche die beschädigte Waldbiomasse im Dahomey Gap in Westafrika untersucht. Die Menge der Biomasse kann nur durch Feldmessungen und Stichproben ermittelt werden. Eine Aussage über ein größeres Areal fällt folglich schwer, da alle Stoffgemische für das gesamte Gebiet ermittelt werden müssten, um die Biomasse zu berechnen. [Pereki u. a. \(2014\)](#) sucht nach einem Verfahren, bei dem die Biomasse für ein ausgewähltes Areal einfacher zu ermitteln ist. Dafür wird der normalized difference vegetation index ([NDVI](#)) verwendet, welcher der am häufigsten angewandte Vegetationsindex ist und auf Basis von Satellitenbilddaten errechnet wird. Mit seiner Hilfe lassen sich schnell mit Vegetation bedeckte Bereiche auf der Erdoberfläche und deren Beschaffenheit identifizieren. Mit Hilfe einer bijektiven Relation zwischen Biomasse und [NDVI](#) könnte die Waldbiomasse anhand von Satellitenbildern berechnet werden.

Das Vorhaben von [Pereki u. a. \(2014\)](#) dient als Experiment für diese Arbeit. Anhand dieses Anwendungsfalls sollen spatiale Indikatoren ermittelt werden, welche für die räumliche Analyse und Unterstützung des Szenarios verwendet werden können. Das zu entwickelnde System soll diesem Anwendungsfall bei der Erstellung von spatialen Indikatoren behilflich sein.

1.2. Ziele der Arbeit

Zur Unterstützung dieses Vorhabens sollen in dieser Arbeit Anforderungen an ein effizientes GIS zur räumlichen Analyse im Rahmen der MARS-Architektur abgeleitet werden. Dabei wird eine fachliche Anforderungsanalyse und Erwartungshaltung an das generische System erstellt. Insbesondere die Verwendung von spatialen Indikatoren, die Entwicklung von SGI und die Verbindung von GIS und Datawarehouse (DWH) sollen in dieser Arbeit beleuchtet werden. Das GIS soll anschließend realisiert werden, um Experimente und Anwendungsfälle, wie jenen von Perekı u. a. (2014), darauf auszuführen und zu untersuchen, inwiefern spatiale Indikatoren zur räumlichen Analyse herangezogen werden können.

Neben den rein spatialen Daten fallen bei komplexeren Szenarien zusätzliche Daten an, die sich mit einem GIS alleine nicht optimal auswerten lassen. Konventionelle Geodatenbanken können heterogene Geodaten nicht effizient verwalten. Die Nutzung von DWH im Bereich der Ökologie tritt seit kurzem stärker in den Vordergrund (siehe McGuire u. a. (2008); Kelling u. a. (2009); Thiel-Clemen (2013)). In der Arbeit von Thiel-Clemen (2013) wird dargelegt, wie sich mittels Verwendung eines DWH die Probleme heterogen skaliertes Daten lösen lassen. In dieser Arbeit wird die Möglichkeit zur Integrierung von DWH in GIS untersucht.

Im Folgenden werden die Hypothesen formuliert, die dem Modellansatz des GIS zugrunde liegen und im weiteren Verlauf dieser Arbeit überprüft werden sollen.

Hypothese 1: Spatiale Indikatoren können für die räumliche Analyse eingesetzt werden.

Hypothese 2: Spatial gemischte Indikatoren können durch eine intelligente Verschneidung von Geodaten extrahiert werden.

Hypothese 3: Die entstehenden Probleme durch heterogen skalierte Daten können durch die Verbindung von GIS und DWH gelöst werden.

1.3. Abgrenzungen

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines effizienten GIS im Rahmen des MARS-Projekts. Neben dem GIS werden zeitgleich Systeme zur Simulation (MARS-LIFE) und Speicherung heterogener Daten (MARS-ROCK) entwickelt. Die Analyse

und Realisierung dieser Systeme wird von anderen Projektmitgliedern durchgeführt und ist somit nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Die Experimente, die mit Hilfe des entwickelten Systems durchgeführt werden sollen, stammen aus anderen Arbeiten und teilweise aus anderen Fachgebieten. Eine Validierung der Ergebnisse, Formeln und Schlussfolgerungen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, weshalb die Informationen aus den Anwendungsfällen als geprüft und valide angenommen werden.

Unzählige Geodatenquellen erschweren die sinnvolle Datenintegration aufgrund der dezentralen Speicherung der Geodaten. Die Entwicklung einer zentralisierten Datenintegration ist ein umfassendes Thema, bietet aber für die räumliche Analyse keine nennenswerten Erkenntnisse und ist somit nicht Bestandteil dieser Arbeit.

1.4. Aufbau der Arbeit

In [Kapitel 2](#) werden verwendete grundlegende Konzepte und Fachbegriffe aus der Geoinformatik und Biologie erläutert. Des Weiteren werden Geodatenquellen vorgestellt und entsprechende Geowerkzeuge, bestehende Komponenten und Schnittstellen gesichtet. In [Kapitel 3](#) werden Anforderungen an ein effizientes GIS abgeleitet. [Kapitel 4](#) beschäftigt sich mit der technischen Architektur des Systems und einer Integration im Rahmen des [MARS-Projektes](#). In [Kapitel 5](#) wird die Realisierung des Systems und der angebotenen Schnittstellen beschrieben. Das [Kapitel 6](#) widmet sich dem Experiment und der Verwendung des Systems für dieses Szenario. Im abschließenden [Kapitel 7](#) wird der Ansatz bewertet, verglichen und den Hypothesen gegenüber gestellt.

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

In diesem Kapitel sollen die grundlegenden Konzepte, Ideen, Werkzeuge und der aktuelle Forschungsstand näher beschrieben werden. In [Abschnitt 2.1](#) wird das Softwarepaket beleuchtet, welches die rechnergestützte Verarbeitung komplexer, raumbezogener Informationen ermöglicht. [Abschnitt 2.2](#) beschreibt den Datenerhalt sowie die Datenintegration aus verschiedenen Datenquellen. Die verwendeten Standards in der Geoinformatik werden in [Abschnitt 2.3](#) näher betrachtet. In [Abschnitt 2.4](#) wird der aktuelle Forschungsstand für räumliche Analysen und entsprechende Architekturen beleuchtet.

2.1. Geoinformationssystem

Im Zeitalter der Globalisierung und der globalen Vernetzung entstehen große Informations- und Datenmengen. Diese Daten entsprechend zu ordnen und zu analysieren rückt zunehmend mehr in den Fokus von Behörden, Krisenstellen und Büros. Ein GIS ermöglicht es, mit einer Auswahl verschiedener Programme und Werkzeuge Geodaten zu erstellen, zu visualisieren, abzufragen und zu analysieren ([Mitchell \(2005\)](#)). GIS erweitern die Nutzungsmöglichkeiten der klassischen Landkarte. Geodaten repräsentieren Informationen über die geografische Lage eines Objekts, entsprechend einer geografischen Koordinate. Geodaten können als geografische Daten, räumliche Daten, GIS-Daten, Kartendaten, Location-Daten, Koordinatendaten und räumliche Geometriedaten bezeichnet werden.

Eine typische Anwendung für GIS ist die Landkartenerstellung, bei welcher mit Hilfe räumlicher Daten Karten entwickelt werden, die digital abgespeichert und weiter verwendet werden können. (Vgl. [Lillesand \(2006\)](#)) Mit GIS können zudem räumliche Analysen durchgeführt werden, deren Ergebnisse für verschiedene Fragestellungen und Anwendungsfälle benötigt werden. Dazu zählen unter Anderem das Berechnen von Flächengrößen innerhalb eines Areals, die Bestimmung von sich unterschiedlich

überlappenden Objekten, das Messen von Distanzen zwischen geografischen Punkten oder die Anzahl von räumlichen Objekten entlang einer geografischen Linie. Die Resultate dieser Analysen können auf Karten visualisiert oder in Form von Tabellen als Entscheidungshilfe eingesetzt werden.

2.1.1. Räumliche Datenmodelle

Räumliche Daten verbinden Informationen mit einem bestimmten Ort. Diesen Informationen werden im Computer Koordinaten zugeordnet - in Form eines Datenmodells. (Longley (2011)) Grundlegende Datenmodelle von Geoinformationssystemen sind das Rastermodell und das Vektormodell. (Bartelme (2005)) Die räumlichen Informationen werden in einem GIS mit Schichten (sogenannten Layern, siehe Unterabschnitt 2.1.4) repräsentiert.

2.1.1.1. Rasterdaten und Bilder

Rasterdaten bezeichnen eine Art der geometrischen Darstellung von raumbezogenen Objekten. In der einfachsten Form besteht ein Raster aus einer Matrix von Zellen (oder Pixeln), die in Zeilen und Spalten (oder einem Gitter) organisiert sind, bei der jede Zelle einen Wert beziehungsweise eine Information mit impliziter räumlicher Positionsangabe enthält. (By und Huisman (2009)) Die Matrix nutzt quadratische Zellen gleicher Größe. Informationen in einem Raster werden äquidistant diskretisiert und dann quantisiert.

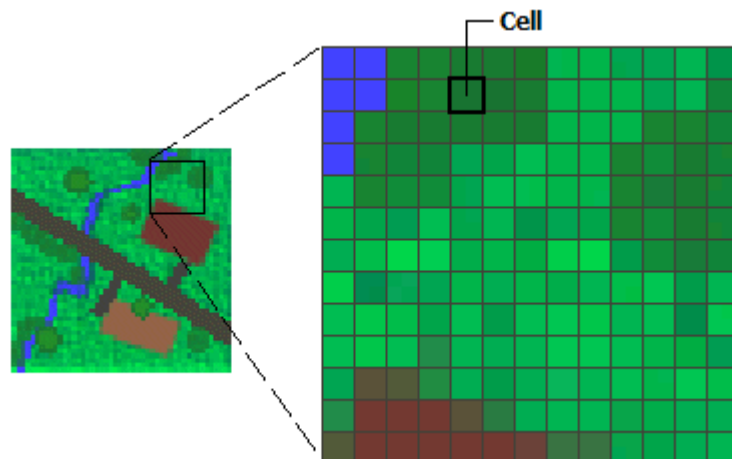


Abbildung 2.1.: Zellen in einem Raster. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

Raster können digitale Luftfotografien, Bilder von Satelliten, digitale Bilder oder auch gescannte Karten sein (Albertz (2001)), da hier gewisse Ein- oder Ausgabegeräte Rasterdaten genau in dieser Form erzeugen respektive verarbeiten. Neben Dreiecks- und Sechsecks-Zellen werden hauptsächlich quadratische Rasterzellen in der praktischen Applikation verwendet, da diese einfach als quadratische Pixel darstellbar und abzuspeichern sind. Die Daten in einem Raster repräsentieren reale Ereignisse:

1. Thematische (diskrete) Daten (*Discrete data*) repräsentieren die Landnutzung oder Bodendaten.
2. Kontinuierliche Daten (*Continuous data*) stellen Ereignisse wie Temperatur und Höhenmeter sowie spektrale Daten wie Satellitenbilder und Luftaufnahmen dar.
3. Bilder (*Picture data*), die gescannte Karten oder Zeichnungen zeigen, sowie Gebäudeaufnahmen.

Thematische und kontinuierliche Daten können als Layer zusammen mit anderen geografischen Daten auf der Karte angezeigt werden, dienen jedoch oft als Quelldaten für die räumliche Analyse. Bild-Raster werden oft als Attribute in Datentabellen verwendet und können mit den geografischen Daten angezeigt werden, um weitere Informationen über die Eigenschaften der Karte zu erhalten.

Unabhängig von der simplen Struktur werden Rasterdaten in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet. Innerhalb von GIS unterteilt man die Verwendung von Rasterdaten in vier Hauptkategorien:

- **Raster als Grundkarten**

Dies ist eine häufige Verwendung von Rasterkarten in einem GIS als Hintergrundbild für andere Layer. So werden geo-referenzierte digitale Orthofotos unter anderen Layern angezeigt und helfen dem Anwender bei der korrekten räumlichen Ausrichtung und Repräsentation von realen Objekten und deren Informationen. Unter die Hauptquellen von Raster-Grundkarten fallen Orthofotos aus Luftaufnahmen, Satellitenbilder und gescannte Karten.

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft



Abbildung 2.2.: Orthofotografisches Rasterbild als Grundkarte für Straßendaten. Quelle: Google Maps

- **Raster als Oberflächenkarten**

Raster sind für die Darstellung von Daten, welche sich kontinuierlich innerhalb einer Landschaft (Oberfläche) verändern, gut geeignet. Sie bieten eine effektive Methode zur Speicherung der Kontinuität und regelmäßiger räumlicher Repräsentation einer Oberfläche. Die häufigste Anwendung von Oberflächenkarten sind Höhenkarten, aber auch andere Werte, wie Niederschlag, Temperatur oder Bevölkerungsdichte werden mit Hilfe von Oberflächenkarten repräsentiert und räumlich analysiert.

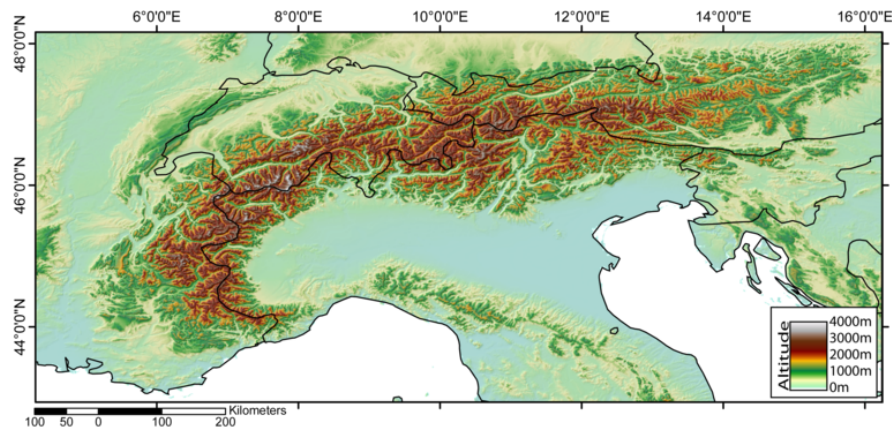


Abbildung 2.3.: Oberflächenkarte in Form einer Höhenkarte der Alpen. Quelle: Wetterzentrale.de

- **Raster als thematische Karte**

Dies sind Raster, welche thematische/diskrete Daten aus anderen vorhandenen Daten ableiten. Eine typische Ausprägung ist die Klassifizierung ([Unterabschnitt 3.2.2](#)) eines Satellitenbildes in Kategorien der Landbedeckung und der Landnutzung (*land cover/land use*). Thematische Karten können auch durch GIS-Operationen entstehen, bei denen Daten aus verschiedenen Quellen, wie Vektor-, Raster- und Geländedaten kombiniert werden.

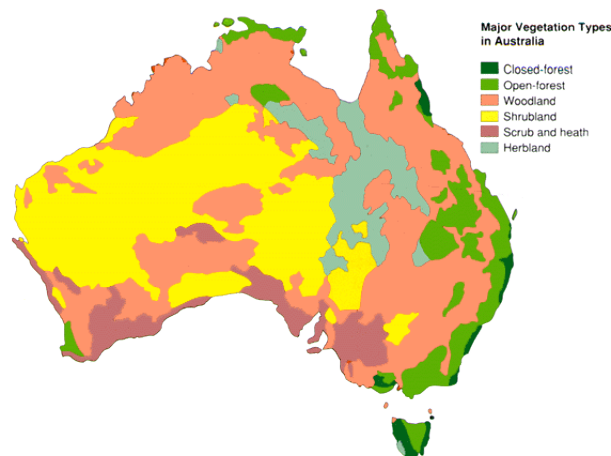


Abbildung 2.4.: Thematische Karte der Vegetationstypen von Australien. Geändert nach [Carnahan \(1977\)](#)

- **Raster als Beschreibung eines Objekts**

Für Raster als Attribut und zur Beschreibung eines Objektes oder geografischen Standortes können digitale Fotos, gescannte Dokumente und Zeichnungen verwendet werden. So kann ein Grundstück-Layer gescannte Dokumente zu den Besitzern einzelner Grundstücke oder ein Höhlen-Layer Fotos von Höhleneingängen - assoziiert mit den geografischen Positionen - enthalten.

Zellwerte

Jede Zelle in Rasterdatensätzen, auch als Pixel bezeichnet, hat einen bestimmten Wert. Die Zellwerte stellen das Phänomen dar, welches der Datensatz behandelt, wie z.B. eine Kategorie, Größenordnung, Höhe oder einen Spektralwert. Die Kategorie könnte eine Klasse der Landnutzung, wie Grünland, Wald oder Savanne sein. Unter Größenordnung versteht man Werte wie Schwerkraft oder die prozentuale Niederschlagsmenge. Die Höhe, beziehungsweise der Abstand, wird häufig mit der Höhe



Abbildung 2.5.: Bild eines großen alten Baumes als Beschreibung eines Objekts

über dem Meeresspiegel in Verbindung gebracht. Spektrale Werte werden insbesondere in Satellitenbildern und Luftaufnahmen verwendet, um Lichtreflektion und Farbe darzustellen.

Die Zellwerte können positive sowie negative Ganz- (*integer*) oder Fließkommazahlen (*float*) sein. *Integer* werden häufig für diskrete Karten verwendet, während *Floats* bei kontinuierlichen Karten zum Einsatz kommen. Um das Fehlen von Daten zu kennzeichnen, können Zellen mit dem *NoData* Wert gefüllt werden.

Es gibt zwei verschiedene Möglichkeiten für Zellwerte einer Zelle zugeordnet zu werden:

- Für bestimmte Daten repräsentiert der Zellwert einen gemessenen Wert **im Zentrum der Zelle**. So werden zum Beispiel Höhendaten abgebildet.
- Die meisten Daten stellen ein Phänomen in einem festgelegten Bereich dar, bei dem der Zellwert **die ganze Zelle** repräsentiert.

Zellgröße und *level of detail*

Zellen in einem Raster sind quadratisch, also folglich alle gleich groß in ihrer Ausdehnung (Länge und Breite). Der Detailgrad (Level of detail (**LOD**)) von Attributen/-Phänomenen/*Features* in Rastern ist abhängig von der Größe der einzelnen Zellen (Pixel) oder der räumlichen Auflösung des Rasters. Die Zelle muss klein genug sein, um die notwendigen Informationen aufzubewahren, jedoch groß genug, so dass eine Speicherung der Daten im Computer und effiziente Analyse möglich sind. Mit einer geringeren Zellgröße können mehrere Attribute, kleinere *Features* oder eine detailliertere

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

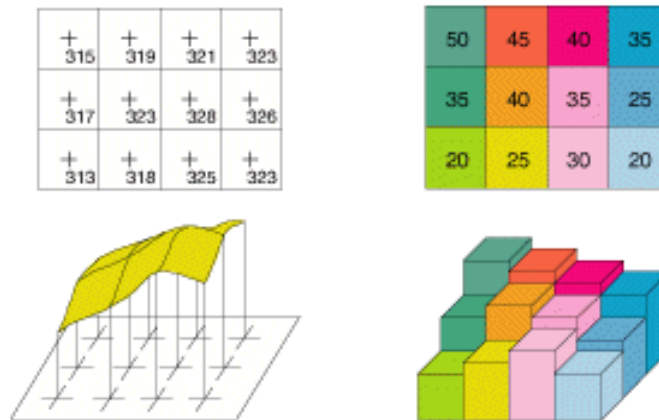


Abbildung 2.6.: Repräsentation der Zellwerte für eine Zelle. Quelle: Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

Ausdehnung von Phänomenen repräsentiert werden. Stellt man eine Oberfläche mit kleineren Zellen dar, so entsteht demnach ein größeres Raster; folglich verbraucht das Raster mehr Speicherplatz, was zu einer längeren Verarbeitungszeit führt.

Kleinere Zellgröße	Größere Zellgröße
Höhere Auflösung der Oberfläche	Geringere Auflösung der Oberfläche
Höhere Genauigkeit von Daten	Geringere Genauigkeit von Daten
Langsame Darstellung	Schnelle Darstellung
Langsame Verarbeitung	Schnelle Verarbeitung
Größerer Speicherplatzverbrauch	Geringerer Speicherplatzverbrauch

Tabelle 2.1.: Direkter Vergleich zwischen kleineren und größeren Zellen

Die Auswahl einer geeigneten Zellgröße hängt dementsprechend von dem Anwendungsfall ab und ist ein wichtiger Planungsschritt in einer GIS-basierten Anwendung. Schnelle Visualisierung, Verarbeitungszeit und der Speicherplatzverbrauch müssen abhängig von den praktischen Anforderungen für die räumliche Auflösung gewählt werden (Siehe [Tabelle 2.1](#)). Im Wesentlichen hängen die Ergebnisse in einem GIS von der Genauigkeit des Datensets ab. Wenn ein klassifiziertes Datenset aus einem 30 Meter pro Pixel aufgelösten Satellitenbild abgeleitet wird, ist es nicht mehr notwendig, ein 10 Meter pro Pixel aufgelöstes Höhenmodell mit den Daten zu verschneiden.

Ein Raster-Datenset kann immer hoch skaliert werden, welches dann ein größeres Zellausmaß zur Folge hat, ohne dass Informationen verloren gehen; durch ein Run-

terskalieren zu einer kleineren Zellgröße wird das Datenset weder detailreicher noch können mehr Informationen extrahiert werden. Es ist von Vorteil - abhängig von der kleinsten vorhandenen Zellgröße der Datensets - entsprechend ähnliche Daten zu verwenden, um so wenig Informationen wie möglich beim Skalierungsprozess zu verlieren.

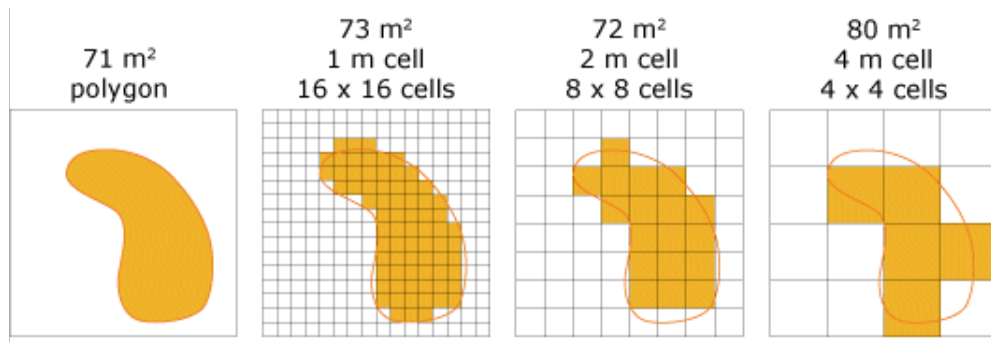


Abbildung 2.7.: Räumliche Auflösung für unterschiedliche Zellgrößen. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

Folgende Faktoren sollten in der Entscheidung der Zellgröße mit einbezogen werden:

- Die räumliche Auflösung der (Eingabe-)Daten,
- die Anforderungen der Anwendung, die erfüllt werden müssen,
- die Analysen, welche durchgeführt werden sollen,
- die Größe der resultierenden Datenbank im Vergleich zur Festplattenkapazität, und
- die gewünschte Reaktions- und Antwortzeit.

Raster-Bänder

Um die Attribute eines Datensets in einem Raster zu beschreiben, werden diese in einzelnen oder mehreren Bändern/*Layer* hinterlegt. Ein Band wird durch eine Matrix aus Zellwerten repräsentiert. Ein Raster, welches aus mehreren Bändern besteht, enthält entsprechend multiple, räumlich übereinstimmende Matrizen mit Zellwerten, welche gleiche Areale darstellen. Ein typisches Beispiel für ein Raster mit nur einem Band ist ein Höhenmodell (Digital elevation model ([DEM](#))) eines Gebiets. Jede Zelle im [DEM](#) enthält genau einen Wert, welcher die Oberflächenhöhe repräsentiert. Satellitenbilder

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

bestehen überwiegend aus mehreren Bänden, bei dem die Werte innerhalb des elektromagnetischen Farbspektrums liegen.

Einbändige Raster können auf drei verschiedene Arten dargestellt werden:

1. Verwendung von zwei Farben

In einem binären Bild hat jede Zelle einen Wert von 0 oder 1 und wird meist mit schwarz und weiß dargestellt. Diese Art der Darstellung wird zum Beispiel für Flurkarten verwendet.

2. Graustufen

In einem Graustufenbild besitzt jede Zelle einen Wert zwischen 0 und 255 oder 65535. Diese werden insbesondere bei schwarz-weißen Luftbildern oder Höhenkarten verwendet.

3. Farbkarte (*Color map*)

Eine Art, Farben in einem Band darzustellen, sind *Color maps*. Dabei werden einzelne Werte codiert, um einen entsprechenden rot/grün/blau (Red green blue (RGB))-Wert zu repräsentieren.

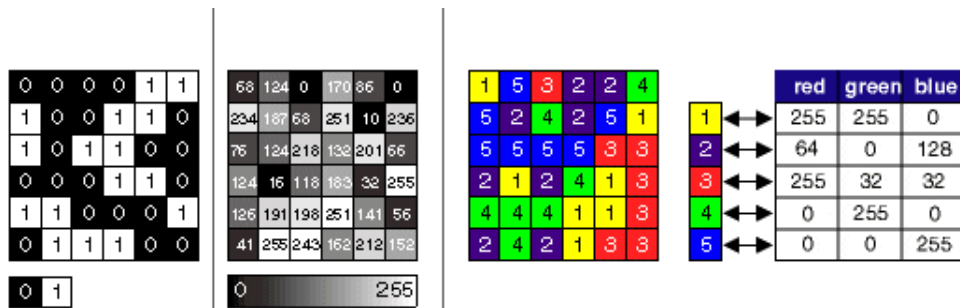


Abbildung 2.8.: Darstellungen von einbändigen Raster.

Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

Wenn das Raster mehrere Bänder enthält, kann jeder Zellposition mehr als ein Wert zugeordnet werden. Bei mehrbändigen Rastern repräsentiert jedes einzelne Band normalerweise einen Teil des elektromagnetischen Farbspektrums. Der Begriff *Band* entstand als Referenz zu einem Farbband auf dem elektromagnetischen Spektrum. Bei Rasterbildern werden zur Anzeige der Daten ein einzelnes Band oder mehrere zusammengesetzte Bänder verwendet. Eine Kombination von drei beliebigen Bändern aus einem mehrbändigen Raster kann zur Erzeugung von RGB-Bildern genutzt

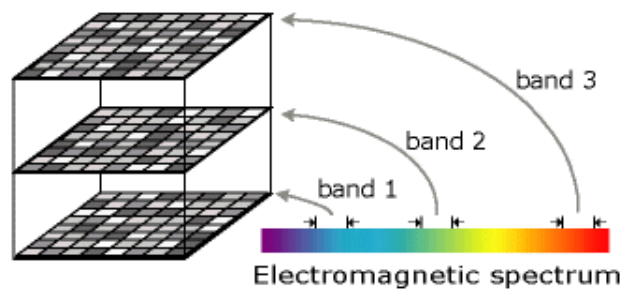


Abbildung 2.9.: Darstellung mehrbändiger Raster und Repräsentation im elektromagnetischen Farbspektrum. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

werden, um mehr Informationen aus der Datenmenge zu gewinnen als bei der Arbeit mit nur einem Band. Ein Satellitenbild besitzt üblicherweise mehrere Bänder, welche unterschiedliche Wellenlängen vom ultravioletten bis infraroten Bereich des elektromagnetischen Farbspektrums umfassen. In einem Landsat-Bild können Daten aus sieben verschiedenen Bändern des Farbspektrums erfasst werden.

Attributtabellen für Raster-Datasets

Neben Raster-Bändern können Raster-Datasets auch Attributtabellen enthalten, welche als separate *Layer* gespeichert werden. Attributtabellen enthalten Zellwerte, die eine Klasse, Gruppe oder Kategorie darstellen. Attributtabellen können Ergebnisse einer Klassifizierungsanalyse sein, die zum Beispiel die Landnutzung in verschiedene Klassen unterteilt. Typische Landnutzungsklassen sind Waldflächen, Sumpfbereiche, Savanne und Wüstenareale. Durch eine Raster-Attributtabelle können die Informationen dieser Tabelle mit den klassifizierten Daten verbunden und verwaltet werden. Dabei können auch weitere zu speichernde Felder definiert werden, zum Beispiel bestimmte Codes oder weitere Beschreibungen zu den Klassen. Des Weiteren können innerhalb von Attributtabellen Berechnungen durchgeführt werden; so kann die Gesamtfläche der Klassen erfasst werden, indem die Anzahl der Zellen mit der entsprechenden Zellenfläche multipliziert wird.

Raster-Pyramiden

Zur Verbesserung der Performance, insbesondere beim initialen Laden von großen Rastern und Vergrößern/Verkleinern der Daten, können Raster-Pyramiden verwendet werden. Raster-Pyramiden bestehen aus reduzierten Versionen des ursprünglichen Raster-Datasets. Für jede Ebene in der Pyramide wird ein Resampling im Verhältnis 2:1 mit Hilfe von Algorithmen wie *Nearest Neighbour* (Nächster Nachbar), *Bilinear*

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

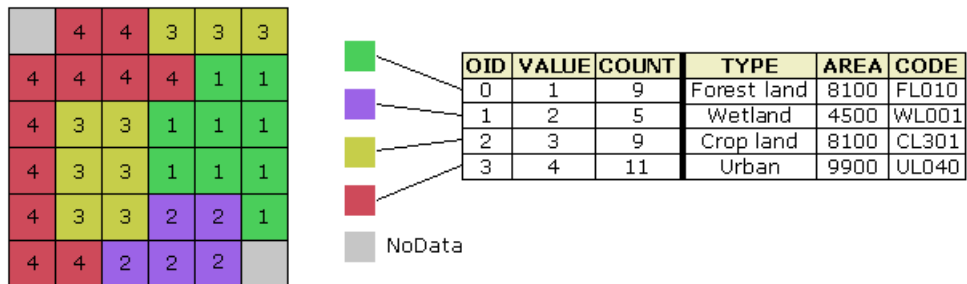


Abbildung 2.10.: Attributtabelle für Raster-Datasets. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

(Bilineare Interpolation) und *Cubic* (Kubische Faltung) durchgeführt. Bei unterschiedlichen Auflösungen und Zoom-Stufen können Pyramiden die Anzeige von Raster-Daten beschleunigen, da nur die notwendige Schicht zum Anzeigen abgerufen werden kann. Verwendet man keine Raster-Pyramiden, so müsste das gesamte Dataset direkt von der Festplatte geladen und auf die entsprechend notwendige Auflösung neu berechnet werden (Anzeige-Resampling). Pro Datensatz werden Raster-Pyramiden nur einmalig erstellt und in einer separaten Datei gespeichert, welche sich im Allgemeinen neben dem Quell-Raster befindet.

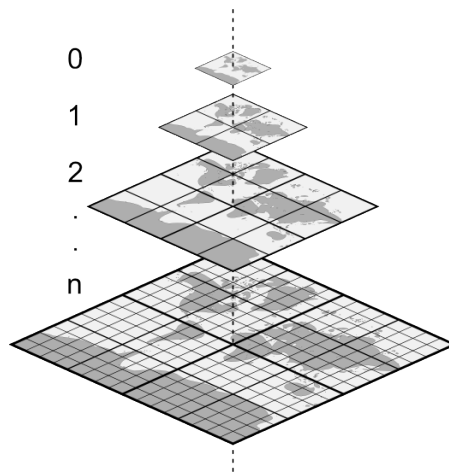


Abbildung 2.11.: Schichten der Raster-Pyramiden. Quelle: [WebGL Earth](#)

2.1.1.2. Vektordaten

Das Vektormodell zeichnet sich im Gegensatz zu dem Rastermodell in der verstärkten Anwendung durch trigonometrische Formen und Koordinatensysteme aus und wird im Allgemeinen zur Darstellung linearer Merkmale verwendet. Vektoren beschreiben einen Ort und dessen Informationen durch Koordinaten. Koordinaten beschreiben einen bestimmten geografischen Punkt mit Hilfe von X- und Y-Werten. Hierdurch entsteht eine linienhafte Betrachtungsweise der Daten. Zur Vereinfachung kann man sich Vektoren auf einer kartesischen Ebene mit euklidischer Metrik (Beispielsweise das Gauß-Krüger-System) vorstellen. Geografische Koordinaten können abhängig von Anwendungsfall und Zielen unterschiedlich dargestellt und projiziert werden (Siehe [Unterabschnitt 2.1.2](#)). Im Gegensatz zur Rasterdatenstruktur, bei der die Attribute und Merkmale mit der Rasterzelle verbunden werden, verbindet das Vektormodell Attribute mit dem Objekt.

Es gibt drei Typen von Vektordaten, welche progressiv aufeinander aufbauen und dadurch komplexere Formen annehmen.

- **Punkte**

Ein Punkt ist ein geometrisches Grundelement des Vektor-Modells. Er repräsentiert ein diskretes geografisches Objekt in einer Koordinate (X, Y). Im topologischen Sinn wird dieses Geoobjekt analog zur Graphentheorie als Knoten bezeichnet. An dem Punkt können thematische Informationen angehängt werden. Zum Beispiel kann die Position einer Haltestelle mit Hilfe eines GPS-Punktes wiedergegeben werden, bei welchem die Haltezeiten als Zusatzinformation/*Features* dienen.

- **Linien**

Linien im geometrischen Sinne werden durch gradlinige oder geschwungene 2D- oder 3D-Kurven zwischen zwei Punkten/Knoten im Koordinatensystem definiert. Für die exakte geometrische Beschreibung muss die Linie durch eine mathematische Funktion ausgedrückt werden können. Strecken zwischen den Knoten sind Liniensegmente. Technisch werden Linien als ein Paar von Koordinaten, welches miteinander verbunden ist, umgesetzt.

- **Polygone**

Ein geschlossener Linienzug, der aus mehreren zusammengesetzten Linien gebildet wird und dessen letzter Punkt der Linie identisch mit dem ersten ist. Mit Hilfe dieser Struktur lassen sich im Vektor-Modell flächenhafte Geoobjekte model-

lieren. Ein Polygon kann Attribute enthalten, wie zum Beispiel die Flächengröße. So sind Dreiecke, Kreise und Rechtecke Polygone.

2.1.1.3. Darstellung von Daten

Im Unterschied zu Raster-Daten, bei denen in den Zellen das entsprechende Phänomen dargestellt wird, können bei Vektor-Daten einzelne Features voneinander abgegrenzt und genau identifiziert werden. Features in einem Raster-Datenset verlieren ihre eindeutigen Identitäten, da diese zu Objektgruppen von Zellen mit gleichen Attributwerten zusammengefasst werden. Features in den Datenmodellen unterscheiden sich somit in der Darstellung.

Punkte

Im Vektorformat wird ein Punkt als einzelne XY-Koordinate dargestellt. Im Raster entsprechen Punkte einer Zelle - der kleinsten Einheit im Rasterformat. Ein Punkt hat keine Ausmaße und keine Größe, muss aber im Rasterformat in eine Zelle konvertiert werden, die eine Fläche darstellt. Je kleiner die Zellgröße, desto kleiner ist die repräsentierte Fläche und desto mehr entspricht die Darstellung dem Punkt-Feature.

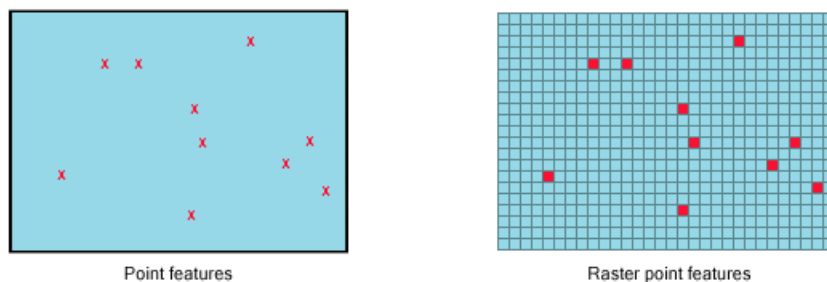


Abbildung 2.12.: Darstellung von Punkten. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

Linien

Eine Linie im Vektorformat ist eine geordnete Liste von XY-Koordinaten. Im Raster-Format muss die Linie jedoch als Kette räumlich miteinander verbundener Zellen dargestellt werden, bei dem jede Zelle den gleichen Wert widerspiegelt.

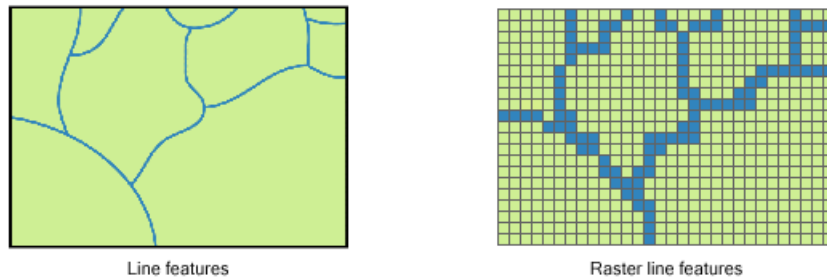


Abbildung 2.13.: Darstellung von Linien. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

Polygone

Ein Polygon wird im Vektorformat als geschlossene Fläche dargestellt, die durch eine geordnete Liste von XY-Koordinaten bestimmt wird, in welcher der letzte Koordinatenpunkt mit dem ersten übereinstimmt. Somit entsteht eine Fläche. Im Raster kann ein Polygon als Gruppe zusammenhängender Zellen mit gleichem Wert repräsentiert werden. So kann die Form der Fläche abhängig vom Maßstab der Daten und Größe der Zellen beliebig genau abgebildet werden. Typische polygonale Phänomene sind Böden, Wälder, Moore und Felder.

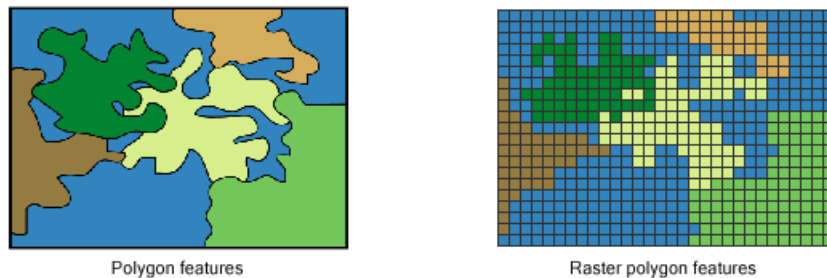


Abbildung 2.14.: Darstellung von Polygonen. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

2.1.1.4. Zusammenfassung

Konzeptuelle Modelle werden verwendet, um die Realität zu abstrahieren. Insbesondere das Anwendungsfeld beeinflusst die Modell-Wahl. So können Bilddaten nur in Form von Rastern repräsentiert werden, wohingegen andere Attribute/*Features* (wie Punkte) oder Messungen (wie Niederschlag) entweder als Raster oder als Vektor gespeichert werden können. Die Vorteile der Modelle sind in [Tabelle 2.2](#) zusammengefasst.

Vor- und Nachteile der Datenmodelle

<p>Raster</p> <ul style="list-style-type: none"> + Eine simple Datenstruktur - eine Matrix aus Zellen mit Koordinatenwerten, die mit einer Datentabelle verknüpft sind + Ein Format für fortgeschrittene räumliche und statistische Analyse + Die Möglichkeit, zusammenhängende Flächen zu identifizieren und Oberflächenanalyse durchzuführen + Speichern von gleichförmigen Punkten, Linien, Polygonen und Flächen + Verschnidung von komplexen Datensätzen kann durchgeführt werden + Algebraische und logische Operationen, wie Flächenberechnungen, sind für zusammengehörige Pixel-Mengen einfach und schnell durchzuführen 	<ul style="list-style-type: none"> - Einzelobjekte können weder lagegenau noch formgetreu bezüglich Geometrie und Topologie, sondern nur approximativ dargestellt werden - Aufgrund der Verwendung von Bildformaten ist die anfallende Datenmenge sehr hoch - Da nur ganzzahlige Indexwerte und keine reellwertigen Koordinaten verwendet werden, sind Koordinatentransformationen sehr aufwändig - Raster können riesige Areale identischer Werte aufweisen und sind daher eine ineffiziente Speicherstruktur
<p>Vektor</p> <ul style="list-style-type: none"> + Geeignet für diskrete Objekte (sog. Entitäten) + Für die Modellierung von Einzelobjekten geeignet + Geobjekte sind vektoriell mit beliebig hoher geometrischer Genauigkeit der Lage und Form darstellbar + Geringere Datenmengen im Vergleich zum Raster + Koordinatentransformationen sehr einfach zu berechnen 	<ul style="list-style-type: none"> - Nicht für flächenhafte Verteilung/Felder verwendbar - Aufwand zur Ermittlung und Erfassung der Daten hoch - Algebraische und logische Operationen, wie Flächeninhalt und Verschnidung sind aufwändiger - Keine Repräsentation von Nachbarschaft und Konnektivität zwischen Objekten

Tabelle 2.2.: Vor- und Nachteile der Datenmodelle

2.1.2. Georeferenzierung und Projektionen

Problematisch bei der Verwendung von Geodaten der Erde sind die unterschiedlichen Kartenprojektionen (auch Kartenabbildung genannt), die je nach Anwendung vorteilhafter sind. Die Erde ist eine dreidimensionale Kugel. Um sie nun auf eine zweidimensionale Karte zu projizieren, müssen unterschiedliche Abbildungsvorschriften benutzt werden, welche man mathematisch ausdrücken kann (Siehe [Kehe u. a. \(2010\)](#)). Um die Erde in eine geeignete Kartenabbildung abzuleiten, sind drei Schritte notwendig:

1. Modellauswahl für die Form der Erde (Kugel oder Ellipsoid)
2. Geographische Koordinaten (Länge und Breite) werden in ein kartesisches Koordinatensystem umgewandelt (Richtungsachsen stehen orthogonal aufeinander, Koordinatenlinien sind Geraden in konstantem Abstand voneinander)
3. Skalierung der Karte

Diese Koordinatentransformation ist eine zentrale Funktion von [GIS](#). Die Koordinatentransformation kann im laufenden Betrieb, oder in einem eigenen Arbeitsschritt erfolgen. Es gibt unzählige Projektionen, die Vor- und Nachteile besitzen.

Die am häufigsten verwendete Projektion ist die Unterteilung der Erde in Längen- und Breitengrade ([EPSG:4326](#)) als weltweites zweidimensionales geodätisches Referenzsystem. Auf dieser Projektion arbeitet das Global Positioning System ([GPS](#)).

Die Mercatorprojektion ([EPSG:3395](#)) ist eine weitere Zylinderprojektion, die in Nord-Süd-Richtung geeignet verzerrt ist, um eine winkeltreue Abbildung zu erreichen. Eine winkeltreue Abbildung beschreibt eine Abbildung, die keine Winkelverzerrung besitzt. Alle Winkel entsprechen dem des Urbilds. Bei einer winkeltreuen Abbildung können Richtungen und Distanzen korrekt eingetragen werden, ohne die Abbildung zu ändern. Aufgrund dieser Eigenschaft eignet sich die Mercator-Projektion hervorragend für die Navigation und Längenberechnung.

2.1.3. Formate

Aus unmittelbar gewonnenen Rohdaten (Primärdaten) können Daten durch Modellier- oder Verarbeitungsschritte abgeleitet und aufbereitet werden, die sogenannten Sekundärdaten (aufbereitete Daten). Rohdaten sind im Gegensatz zu den aufbereiteten

Sekundärdaten nicht georeferenziert. Unter Georeferenzierung, Geokodierung oder Verortung (Siehe [Unterabschnitt 2.1.2](#)) versteht man die Zuweisung raumbezogener Referenzinformationen zu einem Datensatz. Der Raumbezug muss erst durch Transformationen und Konvertierungen hergestellt werden. Dazu gehören die Eliminierung geometrischer Verzerrungen oder die Einpassung der Daten in ein gewähltes Koordinatensystem. Man benutzt die gesammelten Primärdaten, verarbeitet und interpretiert diese, um Sekundärdaten zu erhalten, welche für die entsprechenden Aufgaben angewandt werden können. Um nicht abhängig von dem Einsatzgebiet zu sein, versucht man, Primärdaten in ein Format zu konvertieren, welches in vielen Zielsystemen verwendet werden kann.

2.1.3.1. GeoTIFF

GeoTIFF (.geotiff) ist ein Dateiformat zur Speicherung von georeferenzierten Bilddateien. Im Gegensatz zum TIFF-Format speichert GeoTIFF zusätzlich zu den Rasterdaten Koordinaten des Bildausschnitts und die verwendete Kartenprojektion. Das TIFF-Format ist ein verlustfreier Datenspeicher, wodurch es sich gut zur Verarbeitung von geografischen Daten eignet. Insbesondere hochauflösende Satelliten- und Luftbilder werden in diesem Format gespeichert.

2.1.3.2. Erdas Imagine

Erdas Imagine (.img) ist ein Dateiformat von ESRI¹ zur Speicherung von Rasterkarten und wird insbesondere in kommerziellen GIS verwendet.

2.1.3.3. Shapefile

Das Dateiformat Shapefile (.shp) ein von ESRI entwickeltes Dateiformat zur Speicherung von Vektordaten. Dieses Dateiformat ist der Quasi-Standard in GIS aufgrund der Einfachheit und der geringen Datenmenge (Huo u. a. (2011)). In einem Shapefile kann nur eine Art von Vektorgeometrie gespeichert werden (Punkte, Linien, Polygone).

2.1.3.4. GeoJSON

GeoJSON (.json, .geojson) ist ein Dateiformat zur Speicherung von einfachen geografischen Daten und deren nicht-geografischen Eigenschaften in einer listen-artigen Struktur in der *JavaScript Object Notation*², wie in [Tabelle 2.3](#) zu sehen. Aufgrund

¹<http://www.esri.de/>

²<http://geojson.org/geojson-spec.html>

der hierarchischen Struktur, der Datengröße und der Lesbarkeit wird GeoJSON in Open-Source und kommerziellen GIS als Geodaten austauschformat verwendet (Li (2013)).

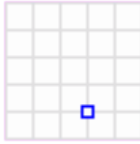
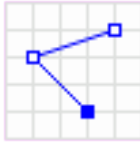
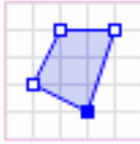
Geometrie	Bild	Beispiel
Punkt		"type": "Point", "coordinates": [30, 10]]
Linie		"type": "LineString", "coordinates": [30, 10], [10, 30], [40, 40]]
Polygon		"type": "Polygon", "coordinates": [[30, 10], [40, 40], [20, 40], [10, 20], [30, 10]]]

Tabelle 2.3.: GeoJSON Beispiele

2.1.4. Layer-Modell

In der Kartographie wurde bei der Herstellung topographischer und thematischer Karten das Layer-Modell (Schichten, Folien, *coverages*, siehe [Abbildung 2.15](#)) entwickelt, ein klassisches Konzept, bei welchem jedes einzelne Attribut in einer separaten Informationsschicht erfasst wird. Für eine konkrete Fragestellung zu einem Gebiet werden ausgewählte Schichten deckungsgleich übereinander gelegt. Um die Informationen aus jeder Schicht zu extrahieren, müssen alle anfragenden Schichten das gleiche Koordinatensystem, den gleichen Maßstab und den gleichen Raumausschnitt besitzen. In den einzelnen Schichten werden Geoobjekte gleicher geometrischer Dimension und gleicher Klassenzugehörigkeit referenziert. So kann ein Punkt-Layer Messstellen oder Merkmale von Baumarten enthalten, wohingegen beim Flächen-Layer beispielsweise die topografische Landflächennutzung repräsentiert ist.

Das Layer-Modell verschafft thematische Übersichtlichkeit durch ein "top-down"-Konzept, bei dem allgemeine Daten für eine spezielle Fragestellung zusammengesetzt werden. Die Datenerfassung und Repräsentation kann schichtenweise und -spezifisch gehand-

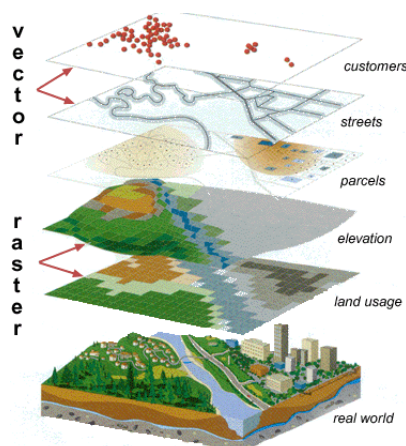


Abbildung 2.15.: Unterschiedliche GIS-Layer übereinander gelegt. Quelle: [NCDDC](#) und [NOAA](#)

habt werden. Zwar sind Abfragen nach Attributen aus einzelnen Layern einfach und schnell, jedoch erweist sich dies bei mehreren Attributen und Schichten aufgrund der notwendigen homogenen deckungsgleichen Ausmaße als langsam und umständlich.

2.2. Geodatenquellen

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit verwendeten Geodatenquellen beschrieben.

2.2.1. Abbildung der Ökosysteme von Afrika

Da die Szenarien vorwiegend die Geodaten von Afrika verwenden, wird ein Datensatz der U.S. Geological Survey, Rocky Mountain Geographic Science Center ([USGS RMGSC](#))³ untersucht. Die [USGS RMGSC](#) hat mit Hilfe der *global mapping methodology* (Vgl. [RMGSC \(2013\)](#)), welche aus einem deduktiven, biophysikalischen Schichtungsansatz entwickelt wurde, die Ökosysteme Afrikas durch ihre wesentlichen strukturellen Elemente abgrenzend modelliert. Jede größere strukturelle Komponente der Ökosysteme (Geländeoberfläche: *land surface forms*, Oberflächenlithologie: *surficial lithology*, Bioklimate: *bioclimates*, topographische Lage: *topographic position* usw.) wurde für den Kontinent auf der höchstmöglichen Auflösung modelliert und räumlich kombiniert, um eine neue Abbildung von biophysikalischen Ereignissen zu produzieren.

³<http://rmgsc.cr.usgs.gov/ecosystems/africa.shtml>

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

Diese biophysikalischen Ereignisse prägen das physikalische Potenzial der Umwelt Afrikas. Die Geodatenquelle beinhaltet verschiedene .zip gepackte Ordner. Im Wesentlichen sind dies die fünf Geodaten, welche im ERDAS Imagine Format als Rasterdaten gespeichert sind:

- Bioklimate (af_isobioclimates)
- Geländeoberfläche (af_land_surface_forms)
- Topographische Lage (af_topographic_position)
- Oberflächenlithologie (af_lithology)
- Beschriftete Ökosysteme (af_labeled_ecosys)

Die Nachfolgenden Abbildungen wurden mithilfe des *Global Ecosystems Data Viewer*⁴ erstellt.

Bioklimate

Klima ist in Bezug auf Temperatur und Niederschlag eine wesentliche Determinante bei der Verteilung der afrikanischen Vegetation und Ökosysteme. Es wurde ein globales Bioklima-Klassifizierungssystem⁵ entwickelt, welches für thermotypes (Heiß-Kalt-Gradienten) und ombrotypes (Nass-Trocken-Gradienten) Bioklima verwendet wird.

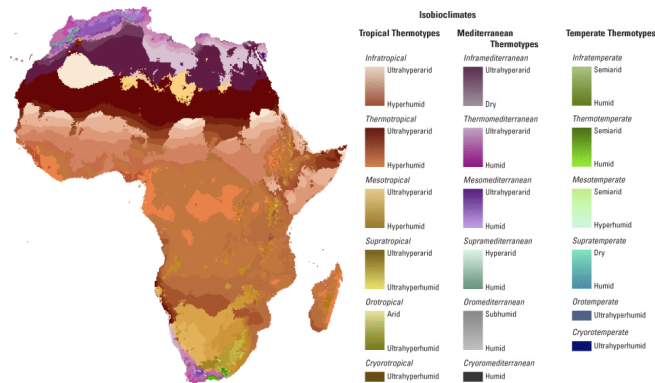


Abbildung 2.16.: Bioklimate. Quelle: USGS RMGSC

⁴<http://rmgsc.cr.usgs.gov/ecosystems/dataviewer.shtml>

⁵<http://www.globalbioclimatics.org/form/entry.pdf>

Geländeoberfläche

Die Geländeoberfläche ist in fünf Klassen (0-15m, 16-30m, 31-90m, 91-150m und >150m) eingestuft, welche dann noch in 8 Formklassen unterteilt worden sind (flache Ebenen, glatte Ebenen, unregelmäßige Ebenen, Böschungen, niedrige Hügel, Hügel, Pausen / Ausläufer, und niedrige Berge).

Topographische Lage

Die topographische Lage identifiziert zwei Ebenen: Hochland und Tiefland. Dies ist ein topographisches abgeleitetes Maß für Raster-Zellen, um das Potenzial des Wasserdurchflusses in einem Punkt zu definieren.

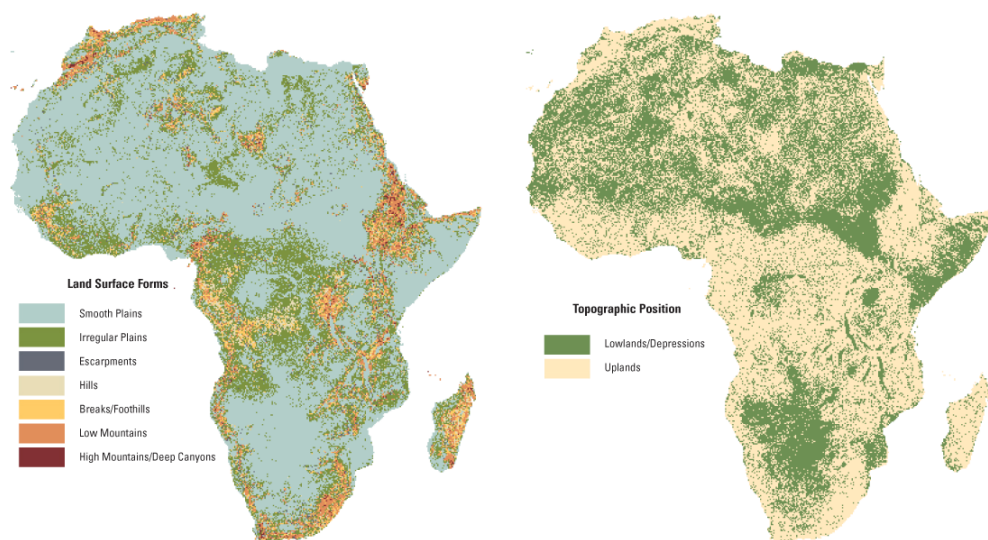


Abbildung 2.17.: Geländeoberfläche (links), Topographische Lage (rechts).
Quelle: USGS RMGSC

Oberflächenlithologie

Die afrikanische Oberflächenlithologie ist ein Datensatz der Materialien - eine Mischung aus der Geologie und konsolidierten oberflächlichen Rohstoffen. In dieser Karte sind die wichtigsten geologischen Materialien aufgezeigt.

Beschriftete Ökosysteme

Der Datensatz für die beschrifteten Ökosysteme beschreibt alle Ökosysteme mit den örtlichen Begebenheiten und Lagen. Eine Legende für die verschiedenen Ökosysteme befindet sich in [Abbildung A.1](#).

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

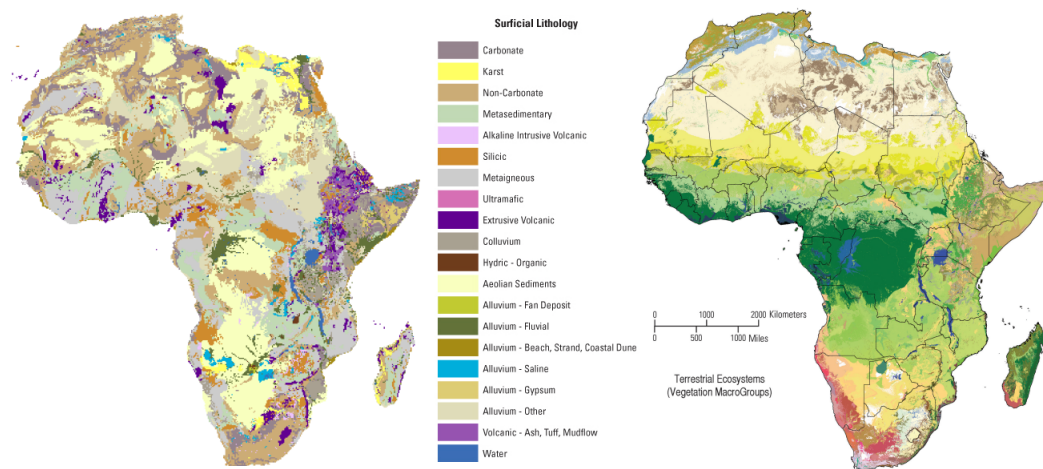


Abbildung 2.18.: Oberflächenlithologie (links), Beschriftete Ökosysteme (rechts). Quelle: USGS RMGSC

2.3. Standards und Geobibliotheken

Im Folgenden werden vorhandene Standards und Geobibliotheken für GIS einer Sichtung unterzogen.

2.3.1. OGC

Die Open Geospatial Consortium (OGC) ist eine 1994 gegründete Organisation, welche offene Standards und Spezifikationen für GIS und Geodaten definiert. Insbesondere stellt die OGC detaillierte Spezifikationen zu Implementierungen der Dienste zusammen. Die OGC entwickelt keine Software, sondern hält die standardisierten Schnittstellen von GIS fest.

2.3.1.1. Web Map Service

Der Web Map Service (WMS) ist eine von der OGC entwickelte Schnittstelle zum Abrufen von Rasterdaten über das Internet. Neben dem Rasterbilderhalt *GetMap* ist eine Schnittstelle zum punktuellen Datenerhalt vorhanden, *GetFeatureInfo*.

2.3.1.2. Web Feature Service

Der Web Feature Service (WFS) ist eine von der OGC entwickelte Schnittstelle zum Abrufen von Vektordaten über das Internet. Mit Hilfe der *GetFeature*-Schnittstelle kön-

nen Punkte oder rechteckige Kartenausschnitte angefragt werden, um die jeweiligen Informationen innerhalb des Ausschnitts zu erhalten.

2.3.1.3. Geospatial Data Abstraction Library

Die Geospatial Data Abstraction Library ([GDAL](http://www.gdal.org/))⁶ ist eine freie Programmbibliothek (Erhältlich für C, C++ und Python) für die Interpretation und Manipulation räumlicher Rasterdaten. Als Programmbibliothek bietet es den aufrufenden Programmen ein einheitliches Datenmodell für alle unterstützten Formate ([Wei u. a. \(2012\)](#)). Das [GDAL](#) Projekt wird auch in C# mit Hilfe von generierten “wrappern”⁷ unterstützt.

2.3.1.4. DotSpatial

DotSpatial⁸ ist eine [GIS](#)-Bibliothek für C#/.NET. Die Bibliothek ermöglicht es Entwicklern, räumliche Daten, Analyse- und Mapping-Funktionalitäten in ihre Anwendungen zu integrieren ([Liu u. a. \(2013\)](#)).

2.4. Aktueller Forschungsstand

Neben der Visualisierung, Verarbeitung und Manipulation von Geodaten werden [GIS](#) insbesondere für die räumliche Analyse verwendet. Bei der räumlichen Analyse werden Rohdaten in wertvolle Informationen transformiert, um effektivere Entscheidungen treffen zu können ([Hu u. a. \(2010\)](#); [Chrisman \(2013\)](#)). Jede räumliche Analyse beinhaltet die fachgerechte Interpretation der Ergebnisse. Mit Hilfe der räumlichen Analyse können Zusammenhänge und Umstände erkannt werden, die bei Betrachtung einzelner Informationen nicht ersichtlich gewesen wären. Die Güte der Eingangsdaten ist entscheidend für die qualitative Aussagekraft der Ergebnisse. Die wichtigsten Arten der räumlichen Analyse sind in folgender Liste zusammengefasst.

- **Räumliche Abfragen und Selektion**

Das Abfragen und die Selektion von Geodaten wird für sachliche oder räumliche Fragestellungen verwendet. Sachliche Fragestellungen sind zum Beispiel “Wie viele Studenten hat eine bestimmte Universität?”; eine räumliche Fragestellung kann zum Beispiel sein “Welche Universitäten befinden sich in einem bestimmten Stadtteil?”.

⁶<http://www.gdal.org/>

⁷<http://trac.osgeo.org/gdal/wiki/GdalOgrInCsharp>

⁸<http://dotspatial.codeplex.com/>

- **Interpolation**

Mit Hilfe der Interpolation können GIS Werte für unbekannte Positionen aus einer begrenzten Anzahl von Referenzdatenpunkten abgeleitet werden. Dieses Verfahren wird insbesondere bei der Vorhersage von Ereignissen und Informationen verwendet, zum Beispiel für Höhenberechnung, Niederschlagsmengen und Konzentrationswerte. Bei der Interpolation wird angenommen, dass räumlich verteilte Objekte korrelieren. So können für das Erstellen von Höhenoberflächen die punktuellen Referenzmessungen verwendet werden, um die Werte zwischen den Eingabewerten vorherzusagen, wie in [Abbildung 2.19](#) dargestellt.

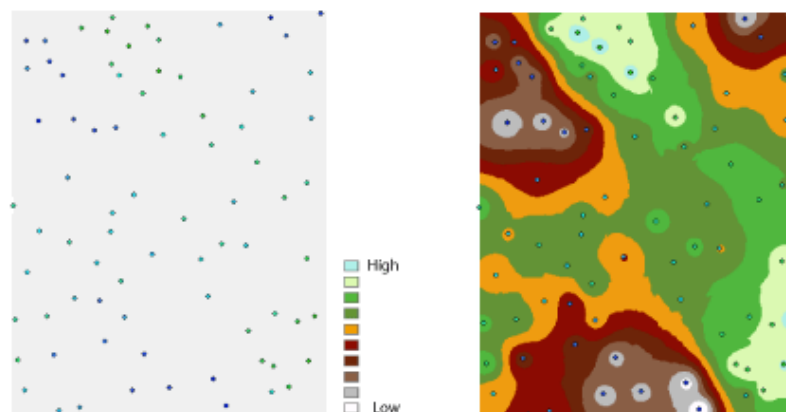


Abbildung 2.19.: Punktinterpolation. Quelle: [ArcGIS Online-Dokumentation](#)

- **Verschneidung**

Bei der Verschneidung werden Geodaten verschiedener Themengebiete miteinander kombiniert. Es werden die Eingangsdaten von mindestens zwei Datensätzen geometrisch überlagert, bei dem die Eigenschaften und Informationen in das Ergebnisdatenset mit Hilfe arithmetischer Formeln übernommen werden. Bei der Verschneidung handelt es sich demnach um Kombinationen verschiedener Layer (Siehe [Unterabschnitt 2.1.4](#), vgl. [Bartelme \(2005\)](#)).

2.4.1. Spatiale Indikatoren

Globale Herausforderungen erfordern ein erweitertes räumliches und integriertes Verständnis von möglichen Schadensquellen. Um die konstante Komplexitätserhöhung von ökologischen und gesellschaftlichen Prozessen zu messen und zu überwachen, werden innovative Methoden benötigt, welche räumliche Eigenschaften und Gegebenheiten berücksichtigen. Spatiale Indikatoren können für die räumliche Analyse

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

verwendet werden, um diese Probleme zu adressieren. (Vgl. [Sell \(2006\)](#); [Gloucester \(2011\)](#); [Sparks u. a. \(2011\)](#))

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf bestimmte Regionen zu untersuchen, hat sich die Forschungsgruppe um [Hagenlocher u. a. \(2014\)](#) (Department of Geoinformatics, Universität Salzburg) auf die Länder Sahels und Westafrikas fokussiert, welche vor kurzem als "Ground Zero des Klimawandels" bezeichnet worden sind. Diese Regionen gehören zu den am stärksten Betroffenen durch die Klimaänderungen. ([Environment \(2011\)](#)). Um die klimatischen Veränderungen wie Temperatur, Niederschlag (Subindikatoren) und die damit verbundene Wasserarmut sowie verstärkte Hochwasserereignisse in diesem Gebiet zu bestimmen, müssen Gefahrenherde, sogenannte Hotspots, anhand der vorhandenen Daten identifiziert werden (Vgl. [Strobl \(2008\)](#); [Gerçek u. a. \(2011\)](#)). Um diese Hotspots zu beschreiben, wurde ein SGI entwickelt, welcher sich aus heterogenen Daten von Fernerkundungsdaten (Subindikatoren) zusammensetzt. Der SGI wird mit Hilfe eines GIS, welches über Funktionalitäten wie Segmentierung, Klassifizierung und Verschneidung (Siehe [Abbildung 2.20](#); vgl. [Gerçek und Zeydanli \(2009\)](#)) der einzelnen Subindikatoren verfügt, ermittelt. Mit Hilfe dieses gemischten Indikators wurde ein erster Schritt in Richtung einer umfassenden Beurteilung der vorherrschenden Klimarisiken in den ausgewählten Regionen gemacht.



Abbildung 2.20.: Anpassung an den Klimawandel. Geändert nach: [Hagenlocher u. a. \(2014\)](#)

2.4.2. Geoinformationssystem

Eine aktuelle Entwicklung in GIS sind die "location based services", bei denen unterschiedliche räumliche Informationen miteinander integriert werden. (Vgl. Wang u. a. (2014); Ryschka u. a. (2014)) Aus einer Kombination von Karten und der darauf basierenden Analysen können Anwendungsfälle mit georelevanten Daten unterstützt werden. So kann heutzutage ein mobiles Gerät mit der aktuellen GPS-Position die in der Nähe befindlichen Tankstellen anzeigen. Insbesondere Anwendungsfälle, welche klimatische Veränderungen in Entwicklungsländern aufzeigen sollen und mit geografischen Daten unterstützt werden rücken immer mehr in den Fokus der Forschung. (Vgl. Thiel-Clemen (2013); Pereki u. a. (2014); Hagenlocher u. a. (2014))

2.4.3. Web-GIS

Bei typischen Desktop-GIS sind GIS-Funktionalitäten, Geodaten und Software als ein Gesamtsystem auf dem Rechner des Benutzers vorhanden. Eine aktuelle Entwicklung sind Web-GIS (Zhou u. a. (2012); Liu und Ge (2013)). Web-GIS sind spezialisierte Client-Server-Systeme, bei denen die Verarbeitung der Geodaten und GIS-Funktionalitäten auf dem Server ausgeführt werden und der Client mit Hilfe einer grafischen Oberfläche (Webapplikation) durch Webservices (Geodienste) auf diese Daten und Funktionalitäten zugreift. (Jovanovic u. a. (2012)) Sobald mindestens zwei Systeme Geodaten über das Netzwerk austauschen, kann das System als Web-GIS bezeichnet werden. Abhängig von der Verteilung der GIS-Funktionalitäten auf Client und Server, wie Visualisierung, Manipulation oder Geodatenmanagement, unterteilt man die Systeme respektive in *Thick-Server* und *Thick-Client*.

2.4.4. Geodatenmanagement

Neben den rein spatialen Daten fallen bei komplexeren Szenarien zusätzliche Daten an, die sich mit einem GIS alleine nicht optimal auswerten lassen. Konventionelle Geodatenbanken können heterogene Geodaten nicht effizient verwalten. Die Nutzung von DWH im Bereich der Ökologie tritt seit kurzem stärker in den Vordergrund (Siehe McGuire u. a. (2008); Kelling u. a. (2009); Thiel-Clemen (2013)). In der Arbeit von Thiel-Clemen (2013) wird dargelegt, wie sich mittels Verwendung eines DWH die Probleme heterogen skalierten Daten lösen lassen.

2. Grundlagen und Stand der Wissenschaft

Hierfür werden die Daten in die Form des sogenannten Stern-Schemas überführt. Die Aufbereitung der Daten in Dimensionen mit Hierarchien (Country - Region - ... - GPS) ermöglicht es große Datenmengen effizient auszuwerten und ist der ausschlaggebende Punkt für die Verwendung dieses Schemas.

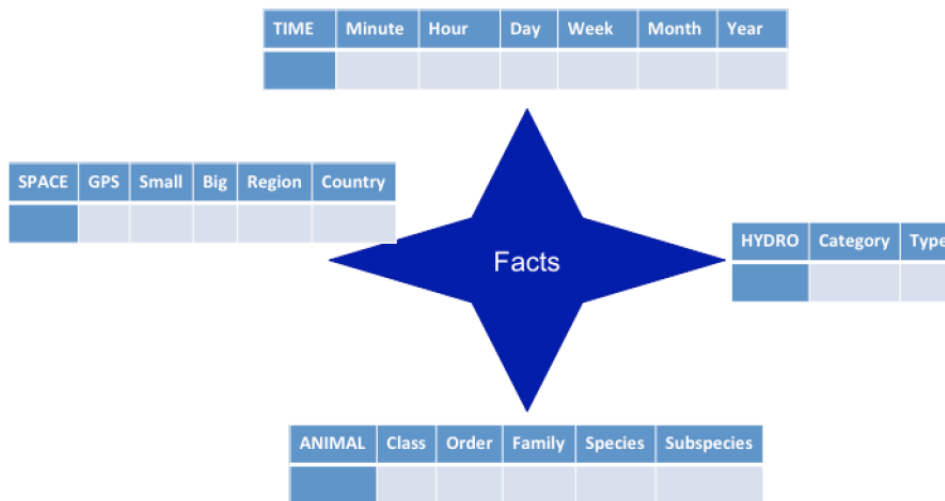


Abbildung 2.21.: Exemplarische Darstellung des Stern-Schemas. Quelle: [Thiel-Clemen \(2013\)](#)

3. Analyse

In diesem Teil der Arbeit werden die Hypothesen aus [Kapitel 1](#) herangezogen und mit den Grundlagen zusammengeführt, um eine Anforderungsanalyse für das zu erstellende System anzufertigen. Das Ergebnis dieser Analyse ist der [Anforderungskatalog](#), welcher den Grundbaustein für den Entwurf in [Kapitel 4](#) und die Realisierung in [Kapitel 5](#) bildet.

3.1. Werkzeuge zur Verarbeitung

In diesem Abschnitt werden Geo-Werkzeuge analysiert, welche die notwendigen Geodaten vom vorherigen Kapitel verarbeiten, speichern und darstellen können. Diese wurden praktisch getestet und auf Vor-/Nachteile geprüft.

3.1.1. Quantum GIS

Quantum GIS ([QGIS](#)) ist ein benutzerfreundliches [GIS](#) zum Betrachten, Bearbeiten und Erfassen von räumlichen Daten. [QGIS](#) unterstützt räumliche Datenbanken wie [PostGIS](#)⁹ und gängige Raster- und Vektordaten. [QGIS](#) bietet eine Programmierschnittstelle an, welche das Verwenden von vorhandenen [QGIS](#)-Funktionalitäten in eigenen Programmen erlaubt.

Über die Menü-Reiter oder die Navigation können einfach Layer hinzugefügt werden. Um die Afrika-Datensätze hinzuzufügen, muss man auf "Rasterlayer hinzufügen" klicken, und die entsprechende .img Datei öffnen.

Vor- und Nachteile

Mit [QGIS](#) können alle Datensätze geöffnet und angezeigt werden. Mit Hilfe der "Objekte abfragen"-Funktionalität kann zu einer bestimmten Koordinate eine Information ausgelesen werden (*Picking* von Informationen). Es werden die Informationen angezeigt, die in [Abbildung A.1](#) hinterlegt sind. Das Laden der großen Geodaten erfolgt aufgrund der

⁹<http://postgis.net/>

3. Analyse

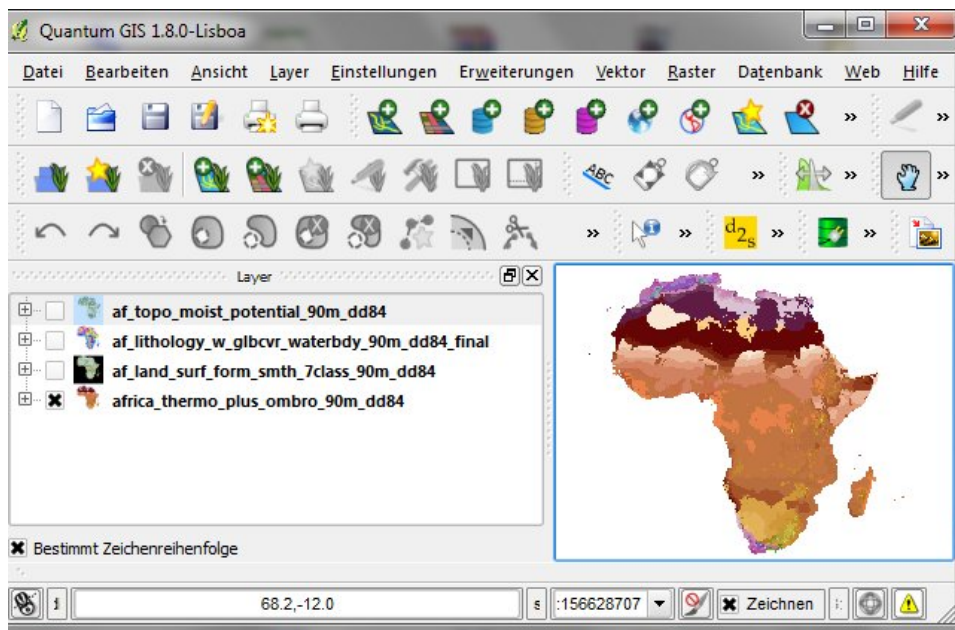


Abbildung 3.1.: Verschiedene Layer im Quantum GIS

bereits vorhandenen Pyramidenstruktur (Vgl. [Abbildung 2.1.1.1](#)) sofort. Es gibt jedoch keine Möglichkeit, die Daten effektiv zu bearbeiten, und in einem anderen Format zu exportieren.

3.1.2. GRASS GIS

Das Geographic Resources Analysis Support System ([GRASS](#))-GIS ist eine hybride, modular aufgebaute Geoinformationssystem-Software mit raster- und vektororientierten Funktionen ([GRASS Development Team \(2012\)](#)).

Vor- und Nachteile

Das Laden der Layer dauert bei [GRASS-GIS](#) sehr lange. Zum Testen wurden die Bioklimate geladen, welche 2593 Sekunden (44 Minuten) benötigten. Die Pyramidenstruktur wurde nicht korrekt erkannt, was ein schnelles Laden nicht möglich machte.

Nach dem Ladevorgang stehen viele Funktionalitäten zur Verfügung - wie *Picking* von Informationen, Visualisierung der Daten oder das Exportieren der Geodaten in andere Formate. Die Menüführung ist aufgrund der vielen Konfigurationsmöglichkeiten umständlich. Das [GRASS-GIS](#) fokussiert sich auf die konsolenartige Ausführung

3. Analyse

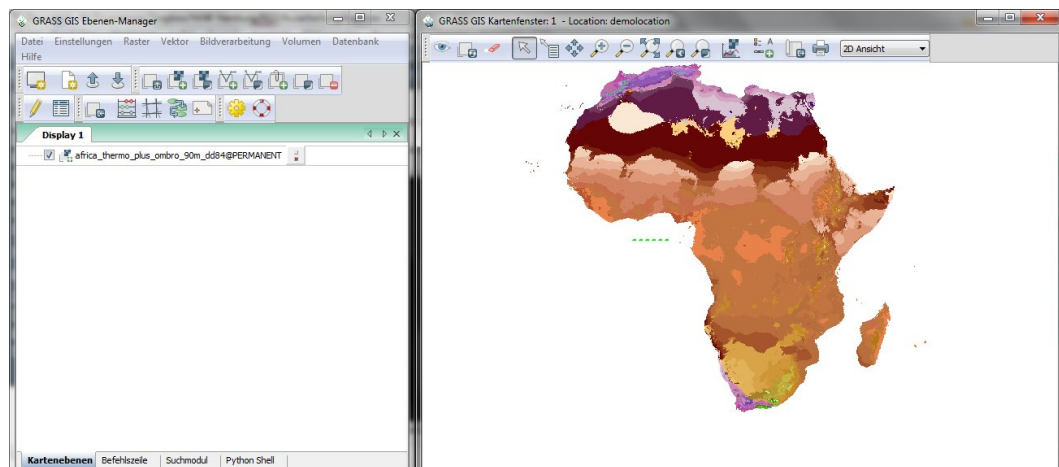


Abbildung 3.2.: Oberfläche des GRASS GIS

der Operationen und Aktionen, wodurch es für reine Webanwendungen, die einen Webservice benötigen, nicht optimal anwendbar ist.

3.1.3. GeoServer

GeoServer ist ein Geodatenmanagementwerkzeug und wird als *Mapserver*-Software eingegliedert. GeoServer implementiert die Standards der **OGC**, wie **WMS** und **WFS**.

Um die ERDAS Imagine Daten im Geoserver korrekt zu laden, wird ein **GDAL-Image-Formats**-Plugin¹⁰ benötigt, welches zuvor installiert werden muss.

Vor- und Nachteile

Der GeoServer ist ein Werkzeug, mit dem Geodaten auf einfache Weise verwaltet und für viele Programme zur Verfügung gestellt werden. Mit Hilfe der zahlreichen Import- und Export-Funktionen können die Daten gezielt von vielen Applikationen mit unterschiedlichen Schnittstellen behandelt werden.

GeoServer stellt direkt Schnittstellen für OpenLayers und Keyhole Markup Language (**KML**) (Google Earth) zur Verfügung. Somit ist ein einfaches Einbinden in bestehende Services möglich. Beim GeoServer können keine Daten extern bearbeitet werden.

¹⁰<http://docs.geoserver.org/stable/en/user/data/raster/gdal.html>

3. Analyse

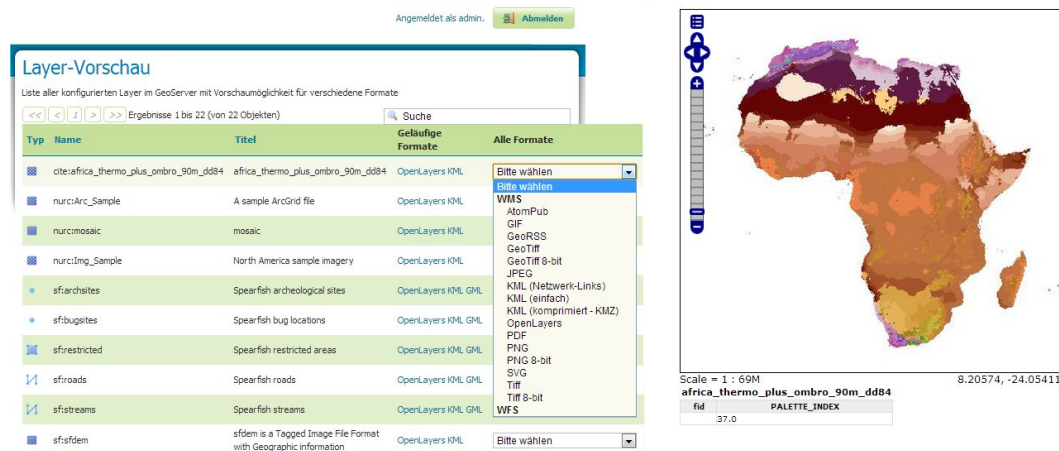


Abbildung 3.3.: Weboberfläche des GeoServer und OpenLayers Export

3.1.4. OpenLayers

OpenLayers ist eine JavaScript-Bibliothek, die es ermöglicht Geodaten im Webbrowser anzuzeigen. OpenLayers ist eine reine Schnittstelle (application programming interface (API)), ähnlich wie die Google Maps API, die eine clientseitige Visualisierung unabhängig vom Server zulässt.

Mit Hilfe von OpenLayers können Karten im Internet dargestellt oder kartenbasierte Anwendungen erstellt werden. Es wird unter anderem von OpenStreetMap¹¹ verwendet. Es stehen die Standards des OGC bereit (WFS, WMS).

Vor- und Nachteile

Eine entsprechende Anwendung kann mit Hilfe von GeoServer direkt erstellt werden. OpenLayers bietet jedoch die Möglichkeit, clientseitige Anwendungen mit den vorhandenen Geodaten zu erstellen - auch auf mobilen Endgeräten mit eigener Steuerung (Touch Devices).

Export-Funktionen und das Bearbeiten von Geodaten sind mit OpenLayers nicht möglich, da OpenLayers primär zur Darstellung und Importierung der Daten konzipiert worden ist. Zwar können die Geodaten dem Benutzer durch Projektionstransformationen anders angezeigt werden, jedoch erfolgt keine Änderung an den Quelldaten.

¹¹<http://www.openstreetmap.de/>

3.1.5. Google Earth und NASA World Wind

Google Earth ([GE](#)) und NASA World Wind ([NWW](#)) sind reine 3D-Visualisierungsprogramme, welche Satelliten- und Luftbilder unterschiedlicher Auflösung mit Geodaten überlagern und auf einem digitalen Höhenmodell der Erde zeigen. Mit Hilfe von [KML](#)-Dateien können externe Layer miteingebunden werden.

Vor- und Nachteile

Um die Afrikadaten anzuzeigen, müssen diese im [KML](#)-Format vorliegen. Zum Zeitpunkt des Schreibens dieses Dokuments konnten die exportierten KML Dateien, die der Geoserver zur Verfügung gestellt hat, nicht in [GE](#) und [NWW](#) geladen werden. Andere Importmöglichkeiten besitzen diese Programme nicht.

3.1.6. Zusammenfassung

Im Folgenden werden anhand der Funktionalitäten der Geo-Werkzeuge die Erkenntnisse zusammen gefasst.

- Für den Import und das Anzeigen der Geodaten eignet sich [QGIS](#). Der Export von Dateien ist nicht möglich.
- Für den Export und das Bearbeiten von Geodaten eignet sich als eigenständige Desktop-GIS das [GRASS-GIS](#).
- Um die Schnittstellen der [OGC](#) ([WMS](#), [WFS](#)) mit eigenen Geodaten zu implementieren, kann auf den GeoServer zurückgegriffen werden.
- Für die dreidimensionale Visualisierung eignen sich entsprechende Frameworks, wie [GE](#) oder [NWW](#) für [KML](#)-Dateien oder verschiedene Geo-Bibliotheken für alle anderen Formate, wie OpenLayers.

Name	Version	D1	D2	D3	D4	D5	Bemerkungen
Quantum GIS	1.8.0	✓	✓	✓	✓	✓	+ Picking + Pyramidenstruktur zum Laden wird genutzt + Visualisierung der Daten - Daten können nicht bearbeitet/exportiert werden + Picking
GRASS GIS	6.4	✓	✓	✓	✓	✓	+ Daten können bearbeitet/exportiert werden + Visualisierung der Daten - Lange Ladezeiten
GeoServer	3.3	✓	✓	✓	✓	✓	+ Daten können exportiert werden + OpenLayers und KML Schnittstelle - Daten können nicht bearbeitet werden - Kein Picking
OpenLayers	2.12	✓	✓	✓	✓	✗	+ Picking + Daten können geöffnet werden (vom WMS) - Daten können nicht bearbeitet werden
GE und NWW	7.1.1	✗	✗	✗	✗	✗	- Daten können nicht geladen/bearbeitet werden

D1 = Bioklima, D2 = Geländeoberfläche, D3 = Topographische Lage,
D4 = Oberflächenlithologie, D5 = Beschriftete Ökosysteme

Tabelle 3.1.: Vor- und Nachteile der Geo-Werkzeuge

3.2. Spatialer Indikator

Um einen spatialen Indikator zur räumlichen Analyse aus Geodaten zu generieren, muss das Datenset anhand des zu untersuchenden Gebietes regionalisiert/segmentiert und anschließend klassifiziert werden.

3.2.1. Segmentierung

Die Segmentierung ist ein Verfahren, welches Teile eines Bildes in kleine Bereiche anhand von homogenen Eigenschaften unterteilt, wie Ländergrenzen oder gleichen Farbwerten (Stepinski u. a. (2006)). Die objekt-basierte Bildanalyse (OBIA) ist ein relativ neuer Ansatz in der digitalen Bildanalyse, Segmentierung und Klassifizierung (Hay und Castilla (2006)). Die Segmentierung des Bildes in einzelne, sinnvolle Objekte ist notwendig für die Klassifikation (Minár und Evans (2008)). In älterer Literatur wird der Begriff "Segmentierung" auch fälschlicherweise als Synonym für Klassifizierung verwendet (Strobl (2007)). Die Segmentierung ist eine GIS-Operation, bei welcher ein standardisiertes Polygon anhand eines definierten Areals erstellt wird, welches das eingegrenzte Gebiet beschreibt.

3.2.2. Klassifizierung

Die Klassifizierung ist eine Technik zur gezielten Entfernung von Grundinformationen eines Datensets, um anhand derer wichtige Muster innerhalb der Daten zu erkennen (By und Huisman (2009)). Die Klassifizierung schließt an die Segmentierung an. Anhand von Attributen können mit Hilfe von ausgewählten Regelsätzen neue Informationen generiert werden. Diese repräsentieren reale Entitäten (Strobl (2007)).

Es gibt verschiedene Algorithmen zur Klassifizierung wie die Mittelwertberechnung der (Farb-)Werte oder die Bestimmung des am häufigsten verwendeten Wertes (Vgl. Macmillan u. a. (2000)). Die Klassifizierung kann nicht nur auf einzelne Werte angewandt werden. Häufig klassifiziert man ganze Areale, um nur einen Wert für das Areal zu erhalten.

3.2.3. Verschneidung - Spatial gemischte Indikatoren

Neben den spatialen Indikatoren können spatial gemischte Indikatoren (SGI) aus Sub-indikatoren gewonnen werden, indem nach der Segmentierung und Klassifizierung

3. Analyse

eine Verschneidung der Datensätze mittels arithmetischer Formeln stattfindet. In [Hagenlocher u. a. \(2014\)](#) werden die SGI anhand gewichteter Cumulative climate change impact (CCCI)-Formeln berechnet. Nach der Segmentierung und Klassifizierung, bei der ganze Areale klassifiziert werden, wird zur Verschneidung die [Gleichung 3.1](#) auf die einzelnen Werte der Subindikatoren ($SI_1 \dots SI_n$) angewandt.

$$|CCCI| = \sqrt{SI_1^2 + SI_2^2 + SI_3^2} \quad (3.1)$$

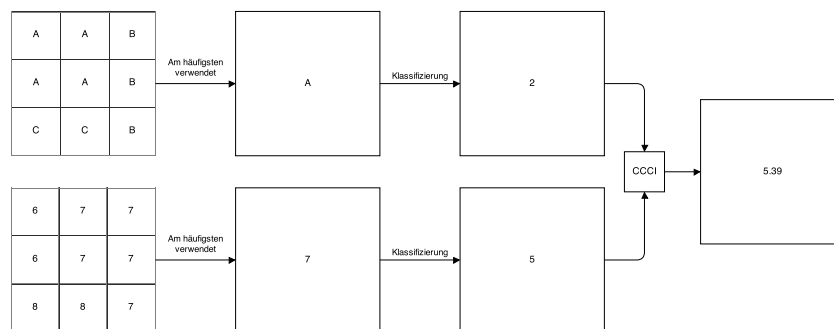


Abbildung 3.4.: Verschneidung von Rasterdaten mittels CCCI

Die Verschneidung von Rasterdaten ist im Vergleich zu Vektordaten einfach und erfolgt durch die Homogenisierung der Zellen. Die Vektordatenverschneidung ist aufgrund der komplexen Geometrien nicht einfach und erfordert intelligente GIS-Software. Ein SGI ist stets anwendungsfallbezogen und muss anhand von selbst definierten Berechnungsvorschriften erstellt werden. Eine Verallgemeinerung wie in [Hagenlocher u. a. \(2014\)](#) zur Erstellung von SGI ist nicht auf andere Experimente anwendbar. Insbesondere die Wahl der Gewichtung der einzelnen Werte müssen vom Anwendungsersteller selbst gewählt und notfalls korrigiert werden.

3.3. Web-GIS

Web-GIS sind bei der Verwendung von Geostandards (Siehe [Abschnitt 2.3](#)) flexibel in der Anwendung. Durch schlanke und skalierbare Web-Applikationen werden die starren und unflexiblen Desktop-GIS ersetzt. Durch die dezentrale Pflege und Aktualisierung von Geodaten sind Web-GIS zuverlässig und aktuell. In [Bandyophadyay u. a. \(2012\)](#) wird eine Architektur aus Open-Source-Softwares vorgestellt, bei denen konkrete Geo-Werkzeuge und Software aus [Abschnitt 3.1](#) verwendet werden.

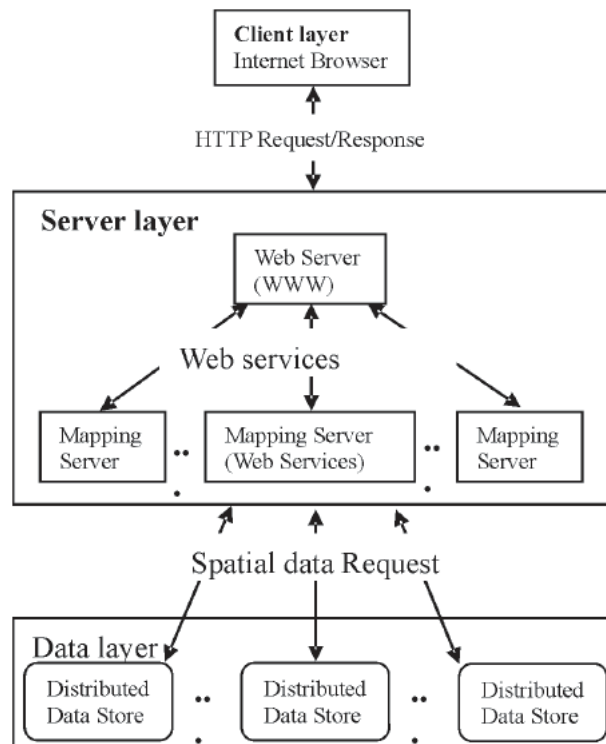


Abbildung 3.5.: Architektur eines Web-GIS. Quelle: [Bandyophadyay u. a. \(2012\)](#)

Das System verwendet eine Client-Server-Architektur, bei dem das Geodatenmanagement und die Implementierungen der GIS-Operationen auf der Server-Seite erfolgt, während die Client-Seite mit Hilfe von Webservices auf diese Daten und Funktionalitäten zugreift und die Geodaten schlussendlich visualisiert.

Da die Zuständigkeiten aufgeteilt sind, eignet sich diese Art der Architektur zur Verteilung von Subsystemen, wie einem DWH und einem GIS, ohne vom Client abhängig zu sein. Insbesondere der flexible Webclient ist einfach wartbar und erweiterbar.

3.3.1. Geodatenmanagement

Die standardisierten Implementierungen von WMS und WFS, wie sie zum Beispiel im GeoServer vorhanden sind, bringen einige Probleme bezüglich der Bildung von spatialen Indikatoren mit sich. Für die Verschneidung und Ermittlung von spatialen Indikatoren werden polygonale Geometrien zur Regionalisierung benötigt. Die Implementierungen von WMS und WFS bieten jedoch nur rechteckige Geometrieabfragen

an. Für Rasterkarten muss dementsprechend ein auf [GDAL](#)- und für Vektordaten ein [DWH](#)-basierendes Framework entwickelt werden, da diese beiden Implementationen polygonale Geometrien unterstützen.

3.4. Anforderungsanalyse

Anhand der Grundlagen und der Analyse können nun Anforderungen an das Zielsystem gesammelt werden. Das Zielsystem muss über [GIS](#)-typische Funktionalitäten, wie Geodatenmanagement, Segmentierung und Klassifizierung, sowie über [DWH](#)-performante Abfragen, wie die Beschaffung von Daten zu selbst definierten Arealen, verfügen können. Dabei muss eine einheitliche Referenzierung verwendet werden, um die heterogenen skalierten Daten, die im [GIS](#) und [DWH](#) eingepflegt wurden, korrekt wiederzugeben. Insbesondere der Erhalt von Daten aus dem [DWH](#) anhand eines selbst segmentierten Areals aus dem GIS und die Manipulation beziehungsweise die formale Erstellung von neuen Geodaten zur Entwicklung von Subindikatoren sind wichtige Anforderungen an das Zielsystem.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die fachlichen Anforderungen (Präfix FA), technische Anforderungen (Präfix TA) und Integration fremder Systeme und Schnittstellen (Präfix I) spezifiziert. Zudem werden Leistungsausgrenzungen (Präfix + X) angegeben.

3.4.1. Fachliche Anforderungen

Web-Client

FA-WC1 Das System kann Geodaten visualisieren.

FA-WC2 Ein Benutzer kann über eine Weboberfläche Geodaten (Rasterdaten) in das Informationssystem einpflegen.

FA-WC3 Ein Benutzer kann vordefinierte Areale (Polygone) in das System laden.

FA-WC4 Ein Benutzer kann ein Areal (Polygon) selbst erstellen.

FA-WC5 Ein Benutzer kann sich zu einem bestimmten Areal enthaltene Geodaten wiedergeben und in tabellarischer Form darstellen lassen.

Geoinformationssystem

FA-GIS1 Das System kann Geodaten miteinander verschneiden (Rasterdaten mit Rasterdaten, Rasterdaten mit Vektordaten, Vektordaten mit Vektordaten). Das bedeutet im Detail die Überlagerung beziehungsweise das Zusammenzeichnen von Karten oder Kartenauszügen und die logische Verknüpfung von Karteninhalten (zum Beispiel die Verschneidung von Strukturen oder Interpolation zwischen Punkt- und Linieninformationen).

FA-GIS2 Ein Benutzer kann neue Geodaten erstellen.

FA-GIS3 Das System kann große heterogene Mengen räumlich indizierter Daten verwalten.

FA-GIS4 Das System kann hinsichtlich Existenz, Position und Eigenschaften von raumbezogenen Objekten abgefragt werden.

FA-GIS5 Das System kann Daten unterschiedlicher Herkunft mittels Maßstabs- und Koordinatentransformation harmonisieren.

FA-GIS6 Das System verfügt über GIS-typische Funktionalitäten, wie Segmentierung und Klassifizierung.

FAX-GIS1 Die Entwicklung eines DWH ist nicht Bestandteil des Systems, wird aber aufgrund der direkten Schnittstellen zum GIS thematisch beleuchtet.

FAX-GIS2 Die Datenbereinigung erfolgt im Voraus und ist somit nicht Bestandteil des Systems.

FAX-GIS3 Die Entwicklung der Simulationskomponente und deren Visualisierung ist nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung.

FAX-GIS4 Die Entwicklung der Fassade für die Simulationskomponente ist nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung.

FAX-GIS5 Die Validierung der Formeln, Quellen und Ergebnisse der Experimente erfolgt in den jeweiligen Ausarbeitungen und ist somit nicht Bestandteil dieser Arbeit.

3.4.2. Technische Anforderungen

Allgemein

TA-A1 Das Informationssystem soll als Webclient- / Server-Anwendung realisiert werden.

TA-A2 Als serverseitige Technologie soll ASP.NET in der Version 4.5 verwendet werden.

TA-A3 Der Client soll in einem Browser ausgeführt werden können. Getestet wird mit Firefox Version 24 und Google Chrome Version 31.

TA-A4 Als Programmiersprache im Backend (Server) soll C# verwendet werden.

TA-A5 Im Frontend (Client) sollen als textbasierte Auszeichnungssprache HTML und als Programmiersprache JavaScript verwendet werden.

Geodaten

TA-G1 Ein Benutzer kann Geodaten exportieren. Als Exportformat soll GeoJSON und CSV verwendet werden.

TA-G2 Ein Benutzer kann Geodaten aus OpenData Quellen in das Informationssystem importieren.

TA-G3 Ein Benutzer kann auswählen, welche Geodaten (beispielsweise Kraftwerke, Umspannwerke) er importieren möchte.

TA-G4 Die Verschneidung von Geodaten kann mittels arithmetischer Formeln durchgeführt werden.

TAX-G1 Eine Unterstützung bei der Validierung der importierten Informationen ist nicht Bestandteil des Systems.

TAX-GM2 Der Import von Geodaten in das [DWH](#) erfolgt im [DWH](#) und wird aufgrund der Ausgrenzung [FAX-GIS1](#) in dieser Ausarbeitung nicht behandelt.

Geodatenmanagement

TA-GM1 Das System kann Geodaten in den Formaten GeoTIFF, Erdas Imagine, ESRI Shapes und GeoJSON interpretieren und importieren.

TA-GM2 Das Einpflegen von Vektordaten, welche Grenzen darstellen (Areale), soll im [WFS](#) des GeoServers erfolgen.

TA-GM3 Das Einpflegen von Vektordaten, die keine Polygone mit Grenzen darstellen (Areale), insbesondere Punktdaten, soll in einem [DWH](#) erfolgen. Dies ist nicht Bestandteil dieser Arbeit und wird nur angedeutet.

TAX-GM1 Die prototypische Entwicklung einer zentralisierten Datenintegration ist nicht Bestandteil des Systems.

3.4.3. Integration

Anzubindende Drittsysteme und ihre Schnittstellen

I-DS1 Als Geodatenmanagementwerkzeug soll der GeoServer in Version 2.4.0 eingesetzt werden.

I-DS2 Zur Verarbeitung und Darstellung von Rasterkarten soll die [WMS](#) Schnittstelle vom GeoServer verwendet und gegebenenfalls erweitert werden.

I-DS3 Neben dem [WMS](#) vom Geoserver soll [GDAL](#) und DotSpatial verwendet werden, um Rasterdaten zu manipulieren und zu erhalten.

I-DS4 Neben dem [WFS](#) vom Geoserver soll die Schnittstelle zu einem [DWH](#) verwendet werden, um punktuelle Vektordaten darzustellen und zu interpretieren.

I-DS6 DotSpatial unterstützt einfache Verschneidungen von Geodaten, weshalb die Schnittstellen von DotSpatial zur Verschneidung von Geodaten verwendet werden.

4. Entwurf

Dieses Kapitel widmet sich dem Erstellungsprozess einer Grobstruktur des Software-systems. Dabei dienen die fachlichen und technischen Anforderungen sowie technische und organisatorische Einflussfaktoren aus [Kapitel 2](#) und [Kapitel 3](#) als Eingabe. Das Ergebnis dieses Softwarearchitekturentwurfs bildet die Grundlage für die [Realisierung](#).

4.1. MARS

Die [MARS](#)-Forschungsgruppe ([MARS-GROUP](#)) an der HAW Hamburg beschäftigt sich mit der Durchführung von Simulationen in interdisziplinären Projekten. Die [MARS](#)-Forschungsgruppe entwickelt Multi-Agenten basierte Simulations-Systeme für hoch skalierte Szenarien mit mehreren tausend Individuen. Das [MARS](#)-Projekt ist kein einzelnes Programm, sondern besteht aus mehreren Systemen, welche miteinander interagieren, um die Durchführung von Simulationen zu unterstützen. ([Hüning u. a. \(2014\)](#)). Der Autor dieser Ausarbeitung ist Projektmitglied der [MARS-GROUP](#), wodurch die Namensgebung der Komponenten entsteht.

Die in [MARS](#) durchgeführten Szenarien sollen insbesondere durch Daten aus Geoinformationssystemen und spatialen Datenbanken unterstützt werden. Im Rahmen dieser Forschungsgruppe entsteht das in dieser Ausarbeitung entwickelte System zur räumlichen Analyse bestehend aus der Geodatenmanagements-, Geoinformationssystem- und Interaktions-Komponente in Form von GeoServer, [MARS-GROUND](#) und [MARS-DEIMOS](#).

[MARS](#) kann zusammenfassend in drei Kategorien unterteilt werden:

1. Datenintegration und -manipulation ([MARS-GROUND](#), [MARS-ROCK](#) und [MARS-SHUTTLE](#)),
2. Simulation ([MARS-LIFE](#)),
3. Visualisierung, Analyse und Interaktion ([MARS-DEIMOS](#) und [MARS-VIS](#)).

4. Entwurf

Die Komponentenaufteilung ist in [Abbildung 4.1](#) dargestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten und ihre Aufgaben näher beschrieben.

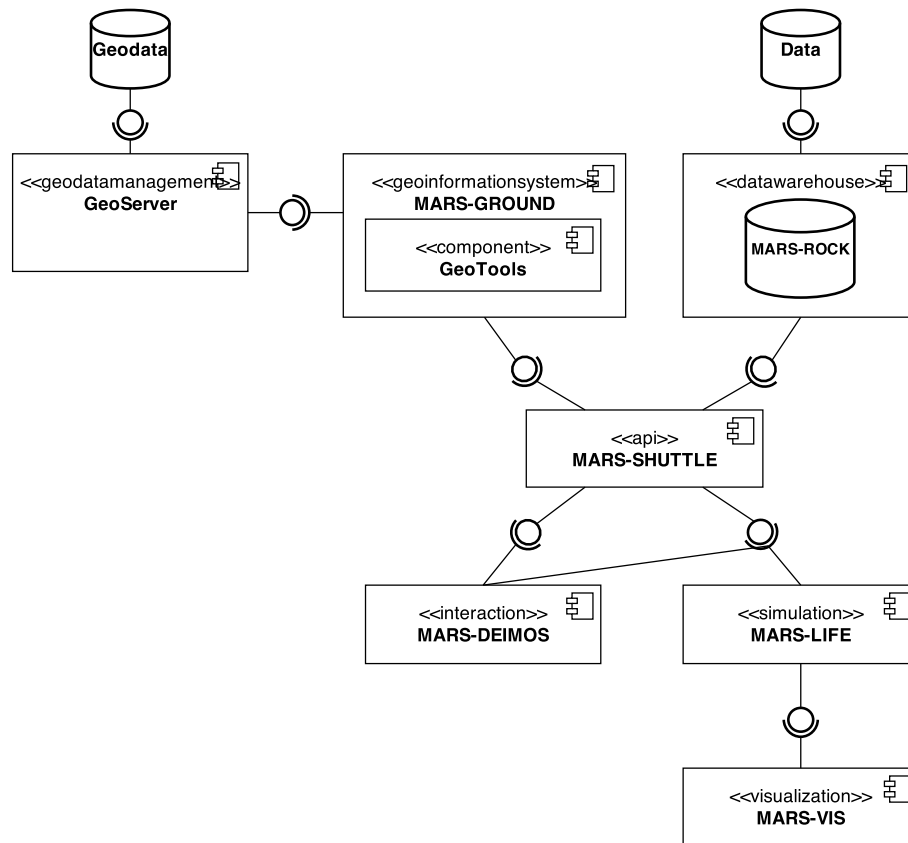


Abbildung 4.1.: Komponentenarchitektur des MARS-Systems

4.1.1. Geoinformationssystem - MARS-GROUND

MARS-GROUND ist das **GIS** von **MARS** und unterstützt die Szenarien mit Geodaten und **GIS**-Operationen (Siehe Anforderung **FA-GIS1**). Das **GIS** enthält **GeoTools**, die Werkzeuge zur Manipulation und Interaktion mit Geodaten. Insbesondere die Probleme mit unterschiedlichen Projektionen, Formaten und Ausdehnungen werden mit Hilfe **GIS**-typischer Funktionalitäten in den **GeoTools** gelöst. Das **GIS** nutzt ein Geodatenmanagementwerkzeug, um große heterogene Mengen räumlich indizierter Daten zu verwalten (Siehe Anforderung **FA-GIS3**).

4.1.1.1. Geodatenmanagement - GeoServer

Geodatenmanagement wird für die Verwaltung großer heterogener Mengen räumlich indizierter Daten benötigt. Der GeoServer eignet sich als spatiale Datenbank zur Speicherung und Adressierung von Geodaten (Siehe Anforderung **I-DS1**). Die Integration von Geodaten erfolgt über eine separate Weboberfläche (Siehe Anforderung **FA-WC2**). Des Weiteren unterstützt der GeoServer die standardisierten Schnittstellen zur Importierung und Transformierung der Daten (Siehe Anforderung **TA-GM1**). Aufgrund der Analyse aus **Kapitel 3** sollen primär Rasterdaten und polygonale Vektordaten in dieser Komponente verwaltet werden.

4.1.1.2. GeoTools

Die GeoTools, beziehungsweise die Werkzeuge zur Manipulation und Interaktion mit Geodaten, sind die Kernfunktionalitäten von MARS-GROUND. Die GeoTools nutzen das Geodatenmanagement und die Geodaten, um GIS-typische Operationen und Manipulationen darauf anzuwenden (Siehe Anforderung **FA-GIS5** und **FA-GIS6**). Außerdem können raumbezogene Objekte hinsichtlich Existenz, Position und Eigenschaften abgefragt werden, wie in **FA-GIS4** gefordert. Insbesondere die Verschneidung von Geodaten und die Ermittlung spatialer Indikatoren kann mit Hilfe der GeoTools durchgeführt werden (Siehe Anforderung **FA-GIS1** und **TA-G4**). Mit Hilfe der Schnittstellen zum Geodatenmanagement (Siehe Anforderung **I-DS2** und **I-DS3**) werden die Daten vom GeoServer in das GIS integriert.

4.1.2. Datawarehouse - MARS-ROCK

Die Entwicklung des DWH wird in Form von MARS-ROCK umgesetzt. MARS-ROCK ist eine Datenbanklösung, um alle Daten, die nicht in einem GIS optimal darstellbar sind, abzuspeichern. Dazu gehören insbesondere alle nicht-räumlichen Daten, also Informationen ohne Raumbezug, sowie typische Geodaten in Geoformaten, wie GeoJSON oder GeoTIFF und Informationen, die sich über die Zeit verändern, zum Beispiel die Bevölkerung des Landes. Das DWH eignet sich im Gegensatz zum Geodatenmanagement optimal für punktuelle Vektordaten, wie in **I-DS4** gefordert.

MARS-ROCK verwendet das Bing-Map-Tiles-System von Microsoft¹², um Daten zu geografischen Positionen zu referenzieren und um effiziente Abfragen auf diese zu

¹²<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb259689.aspx>

ermöglichen. Mit diesem Ansatz können Daten zwischen **MARS-ROCK** und **MARS-GROUND** miteinander verschnitten werden, wodurch das Problem der Informationsintegration in Multi-Agenten-Simulation (**MAS**) gelöst werden kann (**Thiel-Clemen (2013)**).

4.1.3. Fassade - MARS-SHUTTLE

MARS-SHUTTLE integriert die Daten aus **MARS-GROUND** und **MARS-ROCK** hinter einer einheitlichen Schnittstelle, so dass der Benutzer des Systems sich nicht mit der Frage beschäftigen muss, aus welchem technischen System die Daten referenziert werden. Somit fungiert **MARS-SHUTTLE** als Fassade für die beiden Systeme und dient als Schnittstelle für externe Systeme.

Neben der Funktion als Fassade nutzt **MARS-SHUTTLE** die Verbindung zu **MARS-ROCK**, um für die Simulation eine *in-memory*-Datenbank zu generieren, welche die relevanten ausgewählten Daten von **MARS-GROUND** und **MARS-ROCK** als Teilmenge extrahiert. Diese temporäre Datenbank wird von **MARS-LIFE** verwendet, um die Agenten und die Umwelt basierend auf den zur Verfügung gestellten Daten zu instanzieren.

4.1.4. Simulationskern - MARS-LIFE

MARS-LIFE ist die zentrale Simulationskomponente von **MARS** und steuert die Durchführung der Simulation. **MARS-LIFE** verwendet eine temporäre *in-memory*-Datenbank aus **MARS-SHUTTLE**, um auf die Daten aus **MARS-GROUND** und **MARS-ROCK** zuzugreifen.

4.1.5. Visualisierung - MARS-VIS

Inspiziert von den Schlussfolgerungen in **Vigueras u. a. (2013)** wird die Simulation durchführung visualisiert. Die Visualisierung soll insbesondere als Analyse-Werkzeug dienen. **MARS-VIS** koppelt sich an **MARS-LIFE**, um die Daten der einzelnen Simulationsschritte zu erhalten und diese dann darzustellen.

4.1.6. Web-GIS - MARS-DEIMOS

MARS-DEIMOS ist ein visuelles Werkzeug zur Darstellung von Geodaten (Siehe Anforderung **FA-WC1** und **TA-A1**). Mit Hilfe von **MARS-DEIMOS** soll dem Simulationentwickler ein Werkzeug mitgegeben werden, um die notwendigen Schnittstellenaufrufe und -funktionen des **GIS** prototypisch ausführen zu können, und schlussendlich die

Geodaten in einem vordefinierten Format zur Verfügung zu stellen. [MARS-DEIMOS](#) bietet dem Benutzer die Möglichkeit, die importierten Geodaten visuell zu begutachten und diese zu manipulieren.

[MARS-DEIMOS](#) ist als Web-GIS implementiert und nutzt die Verbindung über [MARS-SHUTTLE](#), um Geodaten von [MARS-GROUND](#) und [MARS-ROCK](#) zu integrieren. Dabei dient es als Importmöglichkeit von Geodaten (wie in [FA-WC3](#) und [TA-G2](#) gefordert), zur Erstellung von Geometrien und Informationen (Siehe Anforderung [FA-WC4](#) und [FA-GIS2](#)) und zum Export von generierten Daten (Siehe Anforderung [TA-G1](#)).

4.1.7. Relevantes System

Das Gesamtsystem von [MARS](#), wie in [Abbildung 4.1](#) dargestellt, umfasst mehrere Komponenten und Systeme. Viele Komponenten befinden sich in Entwicklung und sind teilweise nur rudimentär implementiert. Insbesondere die Fassade und der Simulierungskern sind nicht hinreichend realisiert. Das in dieser Ausarbeitung entwickelte System umfasst die GIS-spezifischen Eigenschaften und Funktionalitäten. Das [DWH](#) (Siehe Ausgrenzung [FAX-GIS1](#)), der Simulationskern (Siehe Ausgrenzung [FAX-GIS3](#)) und die Fassade (Siehe Ausgrenzung [FAX-GIS4](#)) sind nicht Bestandteil dieser Ausarbeitung und werden nur thematisch beleuchtet. Das in dieser Ausarbeitung entwickelte System ist in [Abbildung 4.2](#) dargestellt. Die Anbindung an das [DWH](#) ist aufgrund des Fehlens der Fassade direkt an das [GIS](#) gekoppelt. Das Web-GIS verwendet die Schnittstellen von [MARS-GROUND](#), um die Anforderungen der [Anforderungsanalyse](#) umzusetzen.

4.2. Anwendungsfälle

Im Folgenden werden Anwendungsfälle des Systems dargestellt, um eine Sicht auf die dynamischen Aspekte des modellierten Systems zu zeigen. Es werden Interaktionen und Nachrichten beschrieben, welche die Komponenten miteinander austauschen.

4.2.1. Datenintegration

Ausgehend von der Anforderung [FA-WC2](#) sollen Geodaten in das System integriert werden. Dieser Schritt erfolgt durch den Geodatenbank-Administrator, welcher über den Zugang zu dem GeoServer verfügt. Im ersten Schritt müssen die Daten in einem entsprechenden [GIS](#) bereinigt werden, wenn sie nicht konsistent sind oder in

4. Entwurf

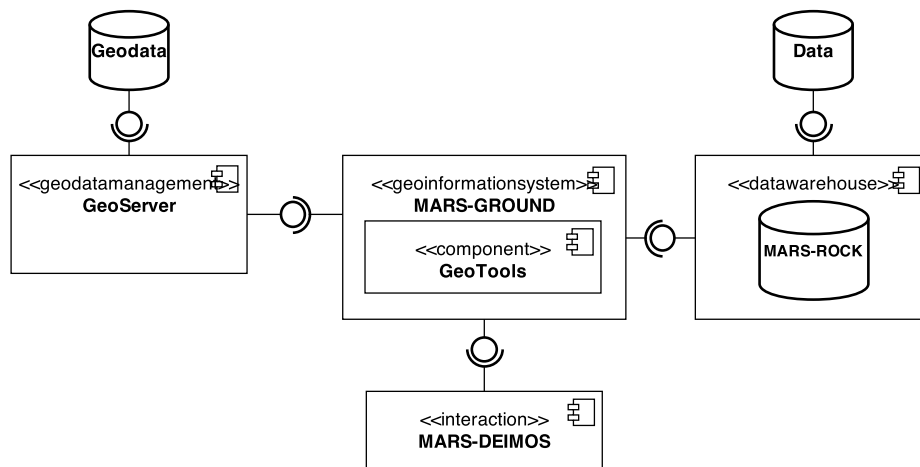


Abbildung 4.2.: Komponentenarchitektur des relevanten Systems

einem nicht **GIS**-standardisierten Format vorliegen. Dies ist in der Praxis dann der Fall, wenn keine Geo-Experten die Datensammlung und -speicherung koordinieren. Die Bereinigung der Daten ist anwendungsfallspezifisch und wird, wie in **FAX-GIS2** ausgeschlossen, in dieser Ausarbeitung nicht weiter behandelt.

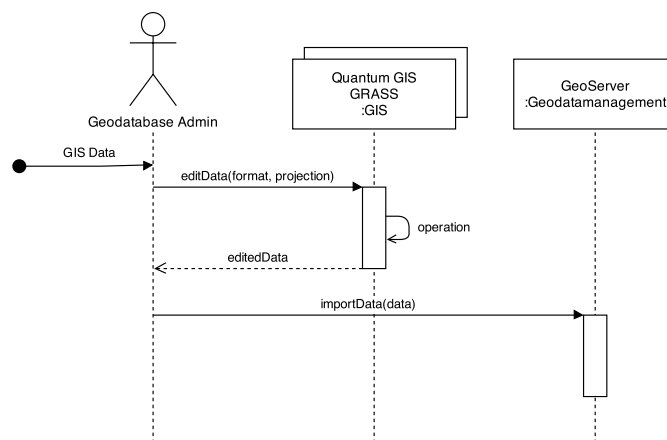


Abbildung 4.3.: Importierung und Integrierung von Geodaten

Im Anschluss der Datenbereinigung erfolgt der Import in das Geodatenmanagementsystem, hier der GeoServer. Somit sind bereinigte Daten im GeoServer referenzierbar und können für die Experimente und in **MARS-GROUND** eingesetzt werden. Dieser Anwendungsfall ist in **Abbildung 4.3** dargestellt.

Der Import von Geodaten in [MARS-ROCK](#) wird aufgrund der Ausgrenzung [TAX-GM2](#) in dieser Ausarbeitung nicht näher behandelt.

4.2.2. Datenerhalt

Nachdem die Geodaten importiert worden sind, können diese vom Benutzer mit Hilfe des Web-GIS, hier [MARS-DEIMOS](#), angefragt und verwendet werden. Dabei spielt es für das System eine Rolle, welche Art von Daten, also Raster- oder punktuelle Vektordaten, benötigt werden. Abhängig vom Datenmodell werden die Daten von [MARS-GROUND](#) bei den entsprechenden Systemen angefragt (Siehe [Abbildung 4.4](#)). Rasterkarten und polygonale Vektordaten werden, wie in [Unterunterabschnitt 2.3.1.1](#) und [Unterunterabschnitt 2.3.1.2](#) analysiert und in [I-DS2](#) gefordert, aus dem GeoServer extrahiert. Punktuelle Vektordaten werden dagegen aus [MARS-ROCK](#) extrahiert. Bei jeder Anfrage zum Datenerhalt verbindet sich [MARS-DEIMOS](#) mit [MARS-GROUND](#), welches wiederum das geeignete System abhängig vom Datenmodell aussucht.

Der Benutzer kann Ausschnitte aus Rasterkarten vom System anfordern und anzeigen lassen. Abhängig von der Projektion des Kartenausschnitts und der geforderten Projektionsart des Benutzers muss die Rasterkarte in [MARS-GROUND](#) projiziert und transformiert werden.

Einzelne Informationsabfragen zu einer Position können mit Hilfe des [WMS](#) durchgeführt werden. Der GeoServer erstellt ein Rasterbild anhand der angefragten Karte und führt die Positionsabfrage auf diese Rasterkarte aus.

Um die Informationen in polygonalen Geometrien zu erhalten, wird bei Rasterkarten der GeoServer verwendet. Anhand der Geometrie wird der entsprechende Kartenausschnitt vom GeoServer geladen, um mit Geobibliotheken, wie [GDAL](#), die Geometrie auszuschneiden und nur die Informationen des relevanten Teils wiederzugeben. Für punktuelle Geodaten wird die Geometrie an [MARS-ROCK](#) übermittelt. Das [DWH](#) ermittelt die entsprechenden Informationen innerhalb dieser Geometrie und sendet sie dem Web-GIS wieder zurück.

4. Entwurf

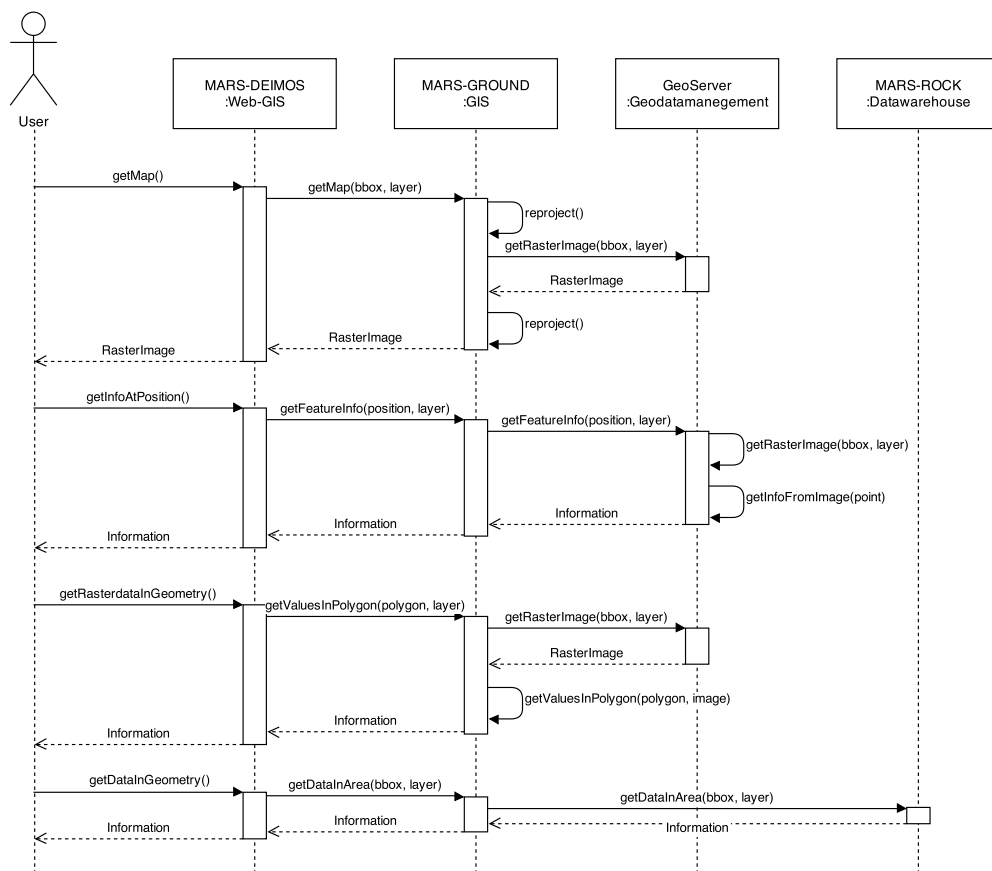


Abbildung 4.4.: Erhalt von Geodaten

4.2.3. Geodatenverschneidung

Mit dem Erhalt der Geodaten aus den Systemen können diese schlussendlich manipuliert und neu aufbereitet werden. Insbesondere für die Erstellung von **SGI** müssen die Daten verändert und angepasst werden, um eine Geodatenverschneidung zu ermöglichen (Siehe Anforderung **FA-GIS1**, **FA-GIS2** und **TA-G4**).

Für die Verschneidung von Geodaten werden immer zwei Datensätze benötigt. Als Ergebnis soll ein neu generiertes Datenset zurück gegeben werden, an welchem schlussendlich die Analysen der Experimente durchgeführt werden sollen. Abhängig von den zwei Quell-Datensets werden andere Ergebnis-Datensets generiert. Der Datenerhalt der Quell-Datensets wird wie in [Unterabschnitt 4.2.2](#) bereits beschrieben

4. Entwurf

durchgeführt. An diesen Geodaten werden in **MARS-GROUND** arithmetische Formeln und Algorithmen angewandt, um die Daten miteinander zu verschneiden. Es werden insbesondere die **GIS-Funktionalitäten** Segmentierung, Klassifizierung und Überlagerung von Geometrien verwendet. Der Ablauf beispielhafter Operationen ist in **Abbildung 4.5** dargestellt.

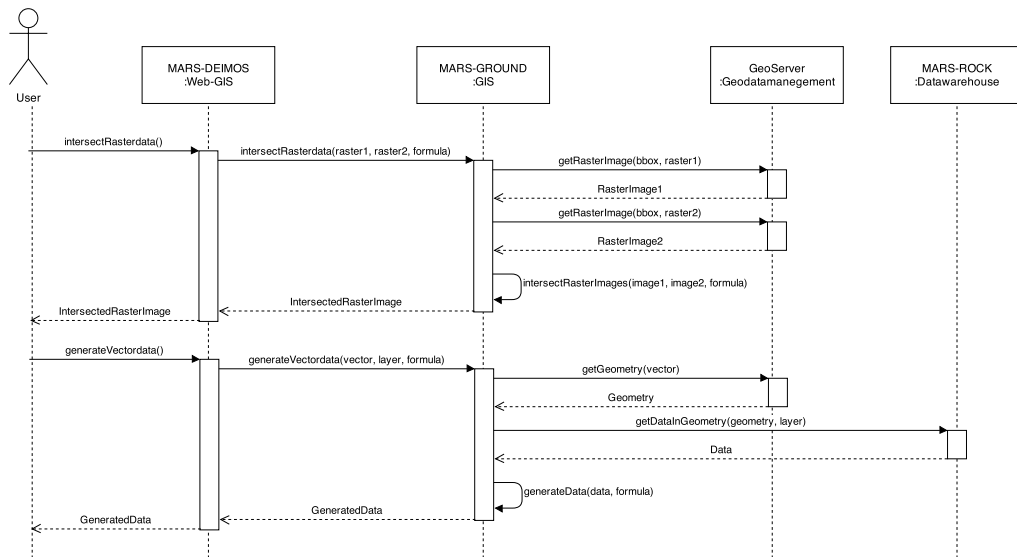


Abbildung 4.5.: Verschneidung und Erstellung von Geodaten

5. Realisierung

In diesem Kapitel wird die konkrete Realisierung anhand der gesammelten Anforderungen in [Kapitel 3](#) und der Architektur in [Kapitel 4](#) näher beschrieben. Insbesondere das Zusammenspiel von [GIS](#) und [DWH](#), die Umsetzung der [GIS](#)-typischen Funktionalitäten und die Verschneidung von Geodaten stehen im Fokus.

5.1. Datenintegration

Anlehnend an das Sequenzdiagramm “[Importierung und Integrierung von Daten](#)” wird in diesem Abschnitt die Datenvorverarbeitung und -integration behandelt. Die Datenvorverarbeitung und -bereinigung in einem [GIS](#), wie [QGIS](#) oder [GRASS-GIS](#), wird aufgrund von [FAX-GIS2](#) hier nicht weiter erörtert.

Entsprechend der Anforderungen [FA-S2](#), [FA-WC3](#), [TA-GM1](#) und [I-DS1](#) eignet sich der GeoServer zur Datenintegration und als Geodatenmanagementwerkzeug. Der GeoServer für das System ist unter <http://gis.3ten.de/geoserver/> erreichbar. Auf der Weboberfläche befinden sich nach erfolgreichem Anmelden in der linken Navigation diverse Werkzeuge, um Geodaten zu integrieren. Unter “Datenspeicher” können neue Geodaten (Raster- sowie auch Vektordaten) in verschiedenen Formaten eingepflegt (Siehe [Abbildung 5.1](#)) und unter “Layer-Vorschau” können dann die entsprechenden Daten betrachtet werden (zum Beispiel das [NDVI Datenset](#)).

5.2. Datenerhalt

Die Datenbeschaffung im System für Raster- und Vektordaten müssen unterteilt werden, da für die beiden Datenmodelle unterschiedliche Sub-Systeme und Schnittstellen verwendet werden. Die zentralisierte MARS-GROUND-Komponente dient als Fassade und bietet diese Schnittstellen als Webanfragen an.

5. Realisierung

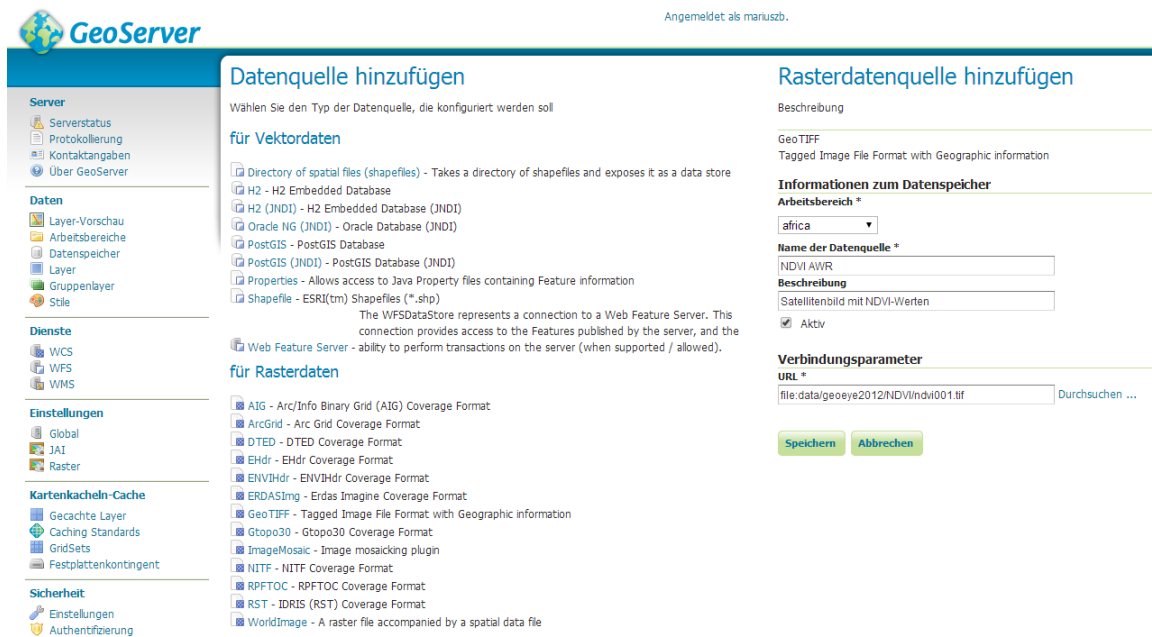


Abbildung 5.1.: Importierung von Geodaten in den GeoServer

5.2.1. GeoServer und WMS für Rasterdaten

Die Anforderung **FA-GIS4** schließt mit ein, dass das System nicht nur Rasterkarten, sondern auch deren Daten und Informationen (Attribute) ausliefern kann. Typischerweise erwartet man Rasterkarten als Bilddateien, während deren Informationen in einer textuellen Form abgefragt werden können.

Für den Erhalt von Rasterkarten der in [Abschnitt 5.1](#) importierten Daten abstrahiert das System von dem standardisierten **WMS**-dienst, wie in **I-DS2** gefordert. Mit der **GetMap**-Schnittstelle des Systems können Rasterkarten vom GeoServer generiert werden. Die übergebenen Parameter spezifizieren das angeforderte Datenset, den Kartenausschnitt, die Höhe und Breite des generierten Bildes und das Bildformat. Das Ergebnis ist ein Bildausschnitt des Datensatzes im entsprechenden Format.

5. Realisierung

Parameter	Notwendig?	Beschreibung
<i>layers</i>	Ja	Verwendetes Datenset, welches im GeoServer importiert wurde.
<i>bbox</i>	Ja	Ausschnitt der Rasterkarte. Werte als <i>minx</i> , <i>miny</i> , <i>maxx</i> und <i>maxy</i> in EPSG:4326.
<i>width</i>	Ja	Breite des generierten Bildes, in Pixel.
<i>height</i>	Ja	Höhe des generierten Bildes, in Pixel.
<i>format</i>	Nein	Das Bildformat des generierten Bildes. Standardwert ist PNG.

Tabelle 5.1.: Parameter für die *GetMap*-Schnittstelle

Ein [beispielhafter Aufruf](#) für das Datenset "africa:Land Surface Form" als PNG Rasterkarte wird mit der nachfolgenden Anfrage ermöglicht.

```
1 http://gis.3ten.de/gis/api/getmap?  
2   layers=africa:Land Surface Form  
3   &bbox=35.01,6.33,40.56,11.89  
4   &width=512  
5   &height=512  
6   &format=png
```

Quelltext 5.1: *GetMap*-Webanfrage

Dieser Aufruf würde die nachfolgende Karte ([Abbildung 5.2](#)) generieren.

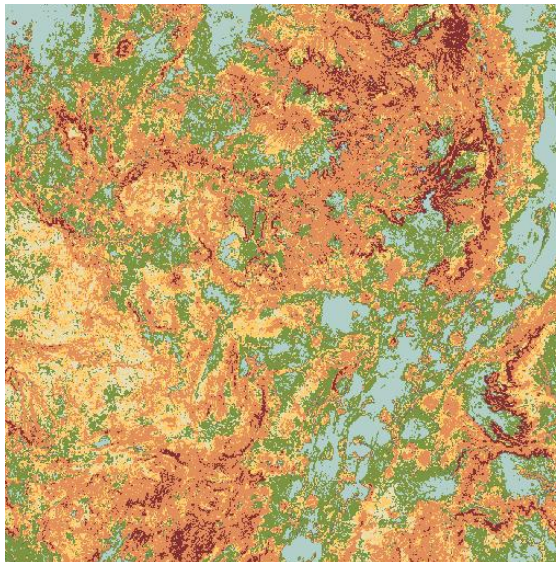


Abbildung 5.2.: Erhaltene Rasterkarte mit Hilfe des WMS vom System

5. Realisierung

Um die Informationen eines Rasters zu erhalten, kann die [GetFeatureInfo](#)- und [GetFeatureInfoBox](#)-Schnittstelle des Systems verwendet werden. Die [GetFeatureInfo](#)-Schnittstelle erlaubt es, Informationen und Daten von einer Rasterkarte zu einem bestimmten Punkt anzufragen. Vorteilhaft bei dieser Schnittstelle ist, dass die Anfrage einen (x,y) Pixelpunkt von einer Rasterkarte wie bei der [GetMap](#)-Schnittstelle fordert, anstatt einer geographischer Koordinate. Insbesondere für native Clients, die über keine umfangreichen georeferenzierten Projektionsoperationen verfügen, wird der einfache Datenerhalt ermöglicht. Das Rückgabeformat ist GeoJSON.

Die übergebenen Parameter für die [GetFeatureInfo](#)-Schnittstelle werden in [Tabelle 5.2](#) aufgezeigt.

Parameter	Notwendig?	Beschreibung
<i>layers</i>	Ja	Verwendete Grundkarte.
<i>bbox</i>	Ja	Ausschnitt der Rasterkarte. Werte als <i>minx</i> , <i>miny</i> , <i>maxx</i> und <i>maxy</i> in EPSG:4326.
<i>width</i>	Ja	Breite des generierten Bildes, in Pixel.
<i>height</i>	Ja	Höhe des generierten Bildes, in Pixel.
<i>query_layers</i>	Ja	Eine komma-separierte Liste der zu anfragenden Datensets.
<i>feature_count</i>	Nein	Die Anzahl der zurückgegebenen Informationen. Standardwert ist 1.
<i>x</i>	Ja	X-Koordinate von dem anzufragenden Pixelpunkt der Karte. 0 ist die linke Seite.
<i>y</i>	Ja	Y-Koordinate von dem anzufragenden Pixelpunkt der Karte. 0 ist die obere Seite.

Tabelle 5.2.: Parameter für die [GetFeatureInfo](#)-Schnittstelle

Ein [beispielhafter Aufruf](#) für das Datenset "africa:Land Surface Form" wird mit der nachfolgenden Anfrage ermöglicht.

```
1 http://gis.3ten.de/gis/api/getfeatureinfo?  
2   layers=africa:Land Surface Form  
3   &bbox=-73.79,-89.07,103.93,79.63  
4   &width=512  
5   &height=486  
6   &query_layers=africa:Land Surface Form  
7   &x=291  
8   &y=249
```

Quelltext 5.2: [GetFeatureInfo](#)-Webanfrage

5. Realisierung

Dieser Aufruf würde die nachfolgende Information (Siehe [Quelltext 5.3](#)) im GeoJSON-Dateiformat generieren. Der entsprechende Wert ist im Attribut *“properties”* ersichtlich (Hier: *“value”*:“2”). In dem zurückgegebenen Datenset ist neben dem Wert auch der Name der Information hinterlegt. Eine konkrete Aussage über den Wert der Information ist semantisch abhängig und muss vom Benutzer entsprechend interpretiert und ausgewertet werden.

```
1 {
2   "requests":1,
3   "type":"FeatureCollection",
4   "features":[
5     {
6       "type":"Feature",
7       "name":"Land_Surface_Form",
8       "prefix":"africa:Land_Surface_Form",
9       "properties":[
10        [
11          { "name":"PALETTE_INDEX", "value":"2", "localpoint": { "x":291, "y":249 } }
12        ]
13      ]
14    }
15  ]
16 }
```

Quelltext 5.3: Zurückgegebenes *GetFeatureInfo*-Datenset

Die *GetFeatureInfoBox*-Schnittstelle ist eine Erweiterung von *GetFeatureInfo* und unterstützt den Erhalt von mehreren Informationen anhand des Kartenausschnitts. Dabei wird eine Box innerhalb des Kartenausschnitts berechnet, welche Zellen mit Informationen enthält. Neben den Parametern aus *GetFeatureInfo* werden weitere Parameter, die in [Tabelle 5.3](#) zu sehen sind, benötigt.

Parameter	Notwendig?	Beschreibung
<i>sx</i>	Ja	Linke Seite des Kartenausschnitts, in Pixel.
<i>sy</i>	Ja	Obere Kante des Kartenausschnitts, in Pixel.
<i>ex</i>	Ja	Rechte Seite des Kartenausschnitts, in Pixel.
<i>ey</i>	Ja	Untere Kante des Kartenausschnitts, in Pixel.
<i>rastersize</i>	Ja	Die Größe des Rasters beziehungsweise die Anzahl der Zellen pro Kante.
<i>algorithm</i>	Nein	Der Algorithmus zur Bestimmung der Zellwerte (<i>center</i> , <i>average</i>). Standardwert ist <i>center</i> .

Tabelle 5.3.: Parameter für die *GetFeatureInfoBox*-Schnittstelle

Um die Zellwerte zu erhalten, werden Algorithmen zur Bestimmung der Informationen pro Zelle angeboten. Im einfachsten Fall werden die Werte im Zentrum der Zelle

5. Realisierung

verwendet (Siehe [Abbildung 2.6](#)). Der Algorithmus zur Bestimmung der Information im Zentrum der Zelle wird mit der [Gleichung 5.1](#) umgesetzt.

$$RW(x,y) = W \left(x \times w + \frac{w}{2}, y \times h + \frac{h}{2} \right) \quad (5.1)$$

RW beschreibt den Wert für eine bestimmte Zelle im Raster, W den Zellwert für eine Pixelposition, x beziehungsweise y die Position innerhalb des Rasters und w beziehungsweise h die Breite und Höhe einer Zelle.

Ein [beispielhafter Aufruf](#) für das Datenset "africa:Land Surface Form" wird mit der nachfolgenden Anfrage ermöglicht.

```
1 http://gis.3ten.de/gis/api/getfeatureinfobox?
2   layers=africa:Land Surface Form
3   &bbox=-73.79,-89.07,103.93,79.63
4   &width=512
5   &height=486
6   &query_layers=africa:Land Surface Form
7   &sx=291
8   &sy=249
9   &ex=341
10  &ey=299
11  &rastersize=2
```

Quelltext 5.4: *GetFeatureInfoBox*-Webanfrage

Die generierten Informationen ähneln der *GetFeatureInfo*-Schnittstelle. Es wird anstelle eines Datenpunktes eine Liste von Informationen (Datenset) erstellt (Siehe [Quelltext 5.5](#)).

```
1 ...
2 "requests":4,
3 ...
4 "properties":[
5   [
6     { "name":"PALETTE_INDEX", "value":"1", "localpoint":{"x":303.5, "y":261.5 } },
7     { "name":"PALETTE_INDEX", "value":"2", "localpoint":{"x":328.5, "y":261.5 } }
8   ],
9   [
10    { "name":"PALETTE_INDEX", "value":"2", "localpoint":{"x":303.5, "y":286.5 } },
11    { "name":"PALETTE_INDEX", "value":"0", "localpoint":{"x":328.5, "y":286.5 } }
12  ]
13 ]
14 ...
```

Quelltext 5.5: Zurückgegebenes *GetFeatureInfoBox*-Datenset

Mit den erwähnten Raster-Schnittstellen lassen sich [Höhenkarten](#) generieren, welche Rasterkarten und deren Informationen miteinander verbinden (Siehe [Abbildung 5.3](#)).

5. Realisierung

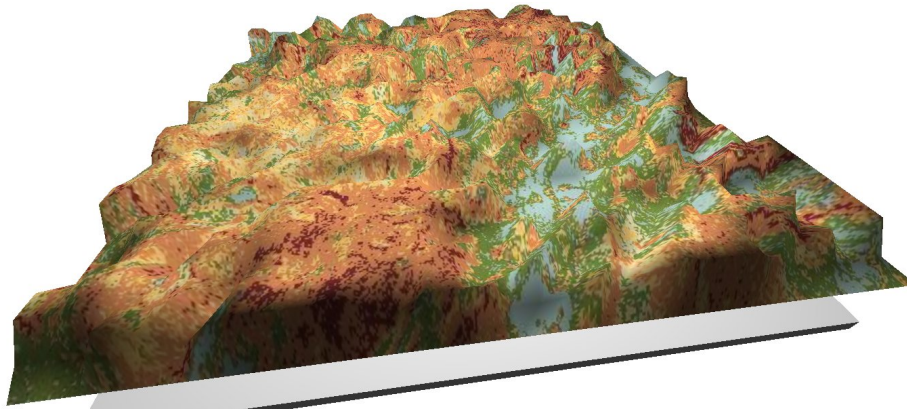


Abbildung 5.3.: Visualisierung eines Höhenmodells mit Hilfe der Raster-Schnittstellen

Abhängig von der Rastergröße und der Anzahl der Zellen müssen unterschiedlich viele Anfragen an den GeoServer gesendet werden, da dieser jede Anfrage sequenziell abarbeitet, was die Ausführungsdauer entsprechend erhöht. Die [Tabelle 5.4](#) spiegelt die Ausführungsdauer für bis zu 400 Datenpunkten (Rastergröße 20, 20 x 20 Zellen) wider.

Rastergröße	Features	Größe (KB)	Zeit (s)	Größe/Raster (KB)	Zeit/Raster (s)	Größe/Feature (KB)	Zeit/Feature (s)								
1	1	0,55	0,12	0,55	0,12	0,55	0,12								
2	4	0,78	0,40	0,39	0,20	0,19	0,10								
3	9	1,10	0,70	0,37	0,23	0,12	0,08								
4	16	1,60	1,12	0,40	0,28	0,10	0,07								
5	25	2,20	1,51	0,44	0,30	0,09	0,06								
6	36	2,90	1,69	0,48	0,28	0,08	0,05								
7	49	4,00	2,09	0,57	0,30	0,08	0,04								
8	64	5,10	1,98	0,64	0,25	0,08	0,03								
9	81	6,30	2,69	0,70	0,30	0,08	0,03								
10	100	7,30	3,18	0,73	0,32	0,07	0,03								
11	121	9,20	3,33	0,84	0,30	0,08	0,03								
12	144	10,80	3,98	0,90	0,33	0,08	0,03								
13	169	12,70	4,85	0,98	0,37	0,08	0,03								
14	196	14,60	5,69	1,04	0,41	0,07	0,03								
15	225	16,40	6,57	1,09	0,44	0,07	0,03								
16	256	19,00	7,90	1,19	0,49	0,07	0,03								
17	289	21,30	7,26	1,25	0,43	0,07	0,03								
18	324	23,80	8,28	1,32	0,46	0,07	0,03								
19	361	26,50	8,59	1,39	0,45	0,07	0,02								
20	400	29,40	10,48	1,47	0,52	0,07	0,03								
$y = 0,0735x^2 - 0,0268x + 0,5171$				$y = 0,5168x - 1,3059$				$y = 0,0597x + 0,2105$				$y = 0,0167x + 0,1641$			
Durchschnitt				Durchschnitt				Durchschnitt				Durchschnitt			
0,84				0,34				0,11				0,04			

Tabelle 5.4.: Ausführungsdauer der Anfragen für die *GetFeatureInfoBox*-Schnittstelle

Da die Anzahl der Anfragen mit der Rastergröße und somit die Anzahl von Informationen ansteigt (Quadratisch), steigt die gesamte zurückgegebene Datenmenge/Größe exponentiell an (Siehe [Abbildung 5.4](#)). Die gesamte Zeit steigt linear an, da sich die Zeit pro Anfrage für die Durchführung einzelner Anfragen nicht weiter mit der Rastergröße erhöht (Siehe [Abbildung 5.6](#)).

5. Realisierung

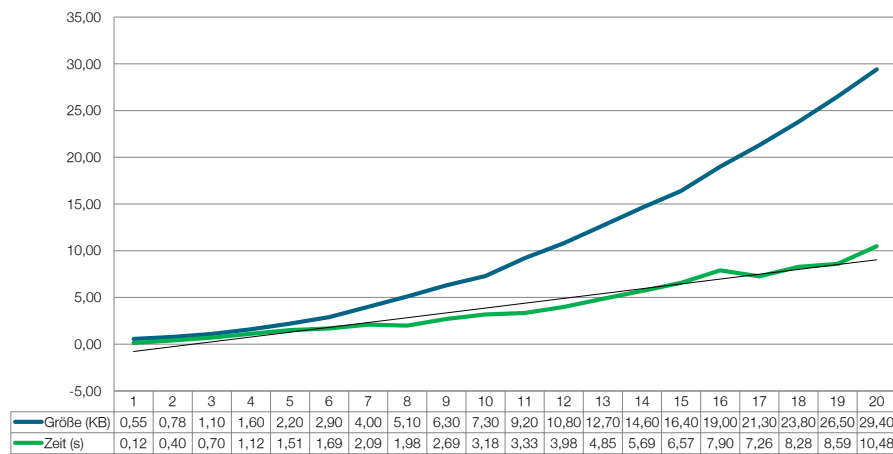


Abbildung 5.4.: Größe und Zeit zur Rastergröße

Das GeoJSON-Dateiformat umschließt die eigentlichen Informationen/Features der Anfragen mit einem Kopf- und Fußteil aus Metadaten (Siehe [Quelltext 5.3](#)). Dadurch kommt es bei wenigen Anfragen/Informationen zu einem Anstieg der zurückgegebenen Datenmenge/Größe im Verhältnis zur Rastergröße, was bei mehreren Anfragen keine Auswirkungen mehr auf die Datengröße hat, da die Metadaten im Verhältnis zu den Informationen einen geringen Teil ausmachen. (Siehe [Abbildung 5.5](#)).

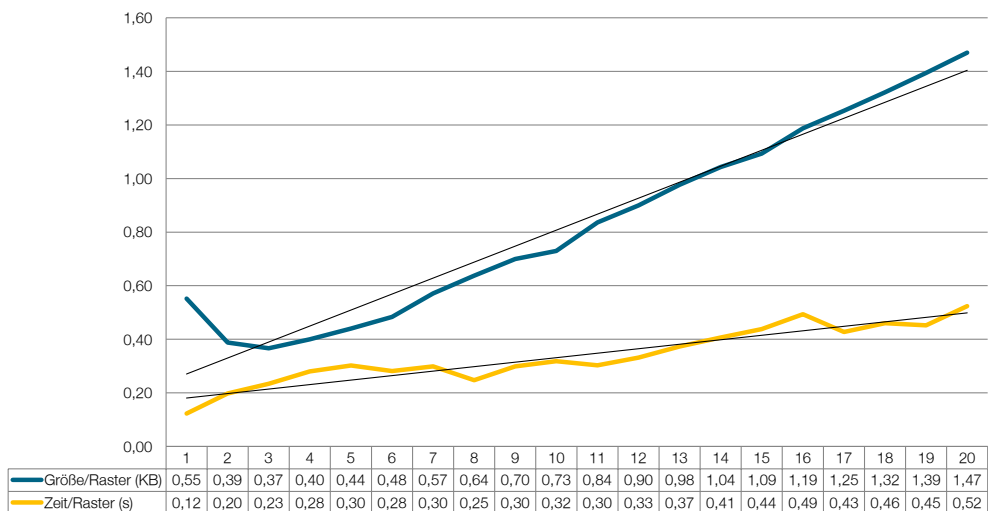


Abbildung 5.5.: Größe und Zeit im Verhältnis der Rastergröße

Die Ausführungsdauer für den Datenerhalt von Rasterkarten mit dem GeoServer und dessen [WMS](#) steigt linear und dauert bei vielen Anfragen mehrere Sekunden bis

5. Realisierung

Minuten, wodurch dieser Service in performanten Applikationen nicht eingesetzt wird. Pro zusätzlicher Anfrage muss mit einer Erhöhung der Ausführungsdauer um 0.03 Sekunden gerechnet werden, wie in [Abbildung 5.6](#) zu sehen ist.

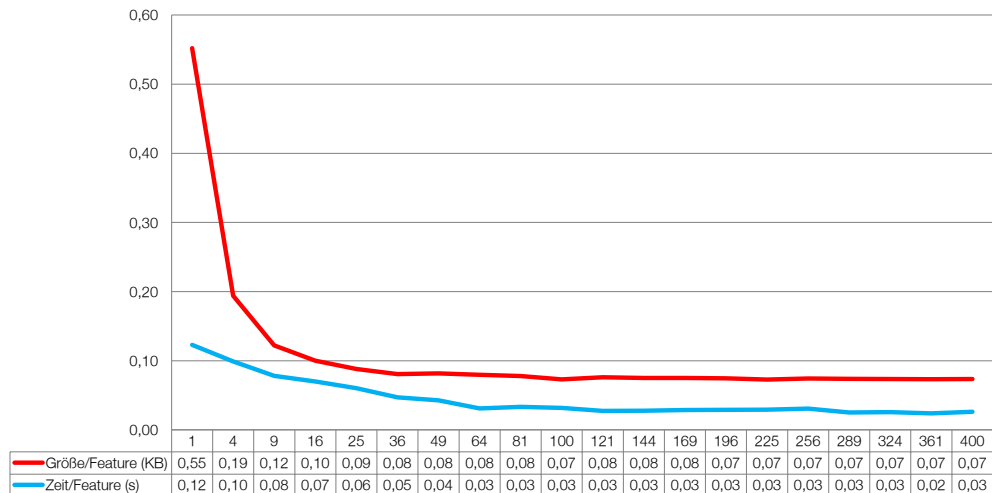


Abbildung 5.6.: Größe und Zeit im Verhältnis zur Feature-Anzahl

5.2.2. GDAL für Rasterdaten

Der Datenerhalt für Rasterkarten mit Hilfe eines [WMS](#) hat zwei wesentliche Nachteile. Zum Einen muss für jede Information eine separate Anfrage an den [WMS](#) geschickt werden, zum Anderen unterstützt [WMS](#) nur rechteckige Kartenausschnitte. Laut der Anforderung [FA-WC5](#) sollen auch Areale, also Geometrien in verschiedenen Formen ([Polygone](#)), als Ausschnitte wählbar sein.

Um auch Polygone zu unterstützen, wird GDAL verwendet (Siehe Anforderung [I-DS3](#)), eine freie Programmbibliothek für die Interpretation und Manipulation räumlicher Rasterdaten. Mit Hilfe von GDAL können auf Low-Level-Ebene Rasterdaten eingelesen und interpretiert werden, ähnlich wie in Bildbearbeitungsprogrammen ([Jingtao und Sheng \(2010\)](#)). Mit Hilfe von DotSpatial können Areale und Geometrien für GDAL übersetzt werden, um Informationen direkt aus den Rasterbildern zu extrahieren.

In [Quelltext 5.6](#) wird die Verbindung von GDAL und DotSpatial, wie es in MARS-GROUND implementiert ist, dargestellt. Das Datenset wird per GDAL geladen und dessen Attribute werden bestimmt. Mit Hilfe der [ReadRaster](#)-Methode können zu

5. Realisierung

einem rechteckigen Areal die Werte direkt aus der Rasterkarte ausgelesen werden. Anschließend wird auf diese Datenstruktur das Polygon überlagert, um nur die Daten, welche sich in diesem Polygon befinden, zu erhalten.

```
1 using DotSpatial.Topology;
2 using OSGeo.GDAL;
3
4 namespace GROUND.CORE {
5     class GdalDataset {
6         Dataset dataset;
7         ...
8
9         public GdalDataset(string path) {
10             dataset = Gdal.Open(path, Access.GA_ReadOnly);
11
12             // Get row and column count of raster.
13             cols = dataset.GetRasterBand(1).XSize;
14             rows = dataset.GetRasterBand(1).YSize;
15
16             // Get cell size dimensions.
17             double[] geotransform = new double[6];
18             dataset.GetGeoTransform(geotransform);
19             cellSizeX = geotransform[1];
20             cellSizeY = -1 * geotransform[5];
21
22             // Getting min and max geographic values for entire raster.
23             minx = geotransform[0];
24             maxy = geotransform[3];
25             maxx = minx + (cols * cellSizeX);
26             miny = maxy - (rows * cellSizeY);
27         }
28
29         protected Point getPixelFromCoordinate(Coordinate c) {
30             // Validation of input values.
31             if((c.X < minx) || (c.X > maxx) || (c.Y < miny) || (c.Y > maxy)) {
32                 return null;
33             }
34
35             int xLoc = Convert.ToInt32((c.X - minx) / cellSizeX);
36             int yLoc = Convert.ToInt32((maxy - c.Y) / cellSizeY);
37
38             // Validation of output values.
39             if((xLoc < 0.5) || (xLoc > cols - 0.5) || (yLoc < 0.5) || (yLoc > rows - 0.5)) {
40                 return null;
41             }
42
43             return new Point(xLoc, yLoc);
44         }
45
46         public double[] getData(Polygon p) {
47             var width = Convert.ToInt32(p.Envelope.Right - p.Envelope.Left);
48             var height = Convert.ToInt32(p.Envelope.Bottom - p.Envelope.Top);
49             double[] r = new double[width * height];
50             dataset.GetRasterBand(1).ReadRaster(p.Envelope.Left, p.Envelope.Top, width,
51                 height, r, width, height, 0, 0);
52
53             return Rastertools.clipData(r, p);
54         }
55     }
56 }
```

Quelltext 5.6: Datenerhalt von Rasterinformationen mit GDAL und DotSpatial

5. Realisierung

Das System bietet diese Funktionalität durch die *GetValuesInPolygon*-Webanfrage (<http://gis.3ten.de/ground/api/getValuesInPolygon>) an. Da das Polygon viele Eckpunkte enthalten kann, werden die Parameter (Siehe [Tabelle 5.5](#)) als HTTP-POST-Request-Datensatz übermittelt.

Parameter	Notwendig?	Beschreibung
<i>dataset</i>	Ja	Verwendetes Datenset, welches im GeoServer importiert wurde.
<i>polygon</i>	Ja	Ein GeoJSON-valides Polygon.

Tabelle 5.5.: Parameter für die *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle

Die *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle erwartet neben dem Datenset aus dem GeoServer auch ein valides Polygon im GeoJSON-Format, wie in [Quelltext 5.7](#) dargestellt.

```
1 dataset:ndvi,  
2 polygon:{  
3   "type": "Polygon",  
4   "coordinates": [  
5     [  
6       [ 1.3811085051274858, 8.610023636292636 ],  
7       [ 1.3811085051274858, 8.609754141707393 ],  
8       [ 1.3808359388724512, 8.609754141707393 ],  
9       [ 1.3808359388724512, 8.610023636292636 ],  
10      [ 1.3811085051274858, 8.610023636292636 ]  
11     ]  
12   ]  
13 }
```

Quelltext 5.7: POST-Datensatz für die *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle

Wenn das Polygon valide ist und es Daten in dem Areal in dem Datensatz gibt, werden die Daten als Liste zurück gegeben (Siehe [Quelltext 5.8](#)).

```
1 [0.14774493873119354,0.1481768786907196,0.17099235951900482,...,0.17057903110980988]
```

Quelltext 5.8: Zurückgegebenes *GetValuesInPolygon*-Datenset

5.2.3. GeoServer und WFS für Vektordaten

Neben dem [WMS](#) für Rasterdaten gibt es einen entsprechenden [WFS](#) für Vektordaten. Die Datenintegration, wie in [FA-WC3](#), [TA-GM2](#) und [TA-GM1](#) gefordert, kann über die Weboberfläche des GeoServers erfolgen (Siehe [Abschnitt 5.1](#)). Mit Hilfe der *GetFeature*-Schnittstelle können anschließend die entsprechenden Informationen von Vektordaten abgefragt werden. Die notwendigen Parameter (Siehe [Tabelle 5.6](#)) ähneln der *GetFeatureInfo*-Schnittstelle. Das zurückgegebene Datenset entspricht dem Aufbau aus [Quelltext 5.5](#).

5. Realisierung

Parameter	Notwendig?	Beschreibung
<i>layers</i>	Ja	Verwendetes Datenset, welches im GeoServer importiert wurde.
<i>bbox</i>	Nein	Ausschnitt der Rasterkarte. Werte als <i>minx</i> , <i>miny</i> , <i>maxx</i> und <i>maxy</i> in EPSG:4326.
<i>feature_count</i>	Nein	Die Anzahl der zurückgegebenen Informationen. Standardwert ist 1.

Tabelle 5.6.: Parameter für die *GetFeature*-Schnittstelle

Die *GetFeature*-Anfrage ist eine vom System angebotene Schnittstelle, welche von der standardisierten *GetFeature*-Schnittstelle des [WFS](#) abstrahiert wurde. Entsprechend ist der Funktionsumfang der gleiche wie beim [WFS](#). Die *GetFeature*-Schnittstelle des [WFS](#) ermöglicht es, innerhalb eines Kartenausschnitts (Hier: *bbox*) Informationen eines Datensets zu erhalten. Dieser Kartenausschnitt darf aber nur eine rechteckige Geometrie sein. Aufgrund von [FA-WC5](#) sollen jedoch auch zu nicht-rechteckigen Geometrien, also Polygone mit beliebig vielen Kanten, der Datenerhalt angeboten werden. Diese Art des Datenerhalts unterstützt ein [WFS](#) nicht. Somit ist die *GetFeature*-Schnittstelle des Systems nur für rechteckige Kartenausschnitte nutzbar.

5.2.4. DWH für Vektordaten

Neben den rein spatialen Daten fallen bei komplexeren Szenarien zusätzliche Daten an, die sich mit einem [GIS](#) alleine nicht optimal auswerten lassen. Die Nutzung von [DWH](#) im Bereich der Ökologie, wie in [Unterabschnitt 2.4.4](#) beschrieben, tritt seit kurzem stärker in den Vordergrund. In der Arbeit von [Thiel-Clemen \(2013\)](#) wird dargelegt, wie sich mittels Verwendung eines [DWH](#) die Probleme heterogen skalierten Daten lösen lassen. Das [DWH](#) soll folglich in das MARS-System mit eingebracht werden. Aufgrund von [FAX-GIS1](#) wird auf die technische Spezifikation des [DWH](#) nicht näher eingegangen. Auch die Datenintegration ist laut [TA-GM3](#) nicht Bestandteil dieser Arbeit. Lediglich die Verbindung der [GIS](#)-Technologien und -Schnittstellen und des [DWH](#) wird näher betrachtet und ist Teil der Realisierung.

5.2.4.1. Georeferenzierung

Die Verwendung verschiedener Systeme zur Speicherung von Daten, konkret die Verwendung eines [GIS](#) im Zusammenspiel mit einem [DWH](#), wirft das Problem der Georeferenzierung zwischen den beiden Systemen auf. Grundsätzlich ist es dem

5. Realisierung

Schema des **DWH** geschuldet, dass spatiale Daten in einer hierarchischen Form abgespeichert werden müssen. Die typischen Hierarchieebenen in einem **DWH**, wie sie im Zusammenhang mit *Business Intelligence* verwendet werden, sind Länder, Kommunen, Städte und andere politische Grenzen beziehungsweise Areale. Diese Einteilung ist für ökologische Daten jedoch nur bedingt geeignet. Politische Grenzen sind über die Zeit veränderlich und auch nicht weltweit eindeutig. Das heißt, dass Datensätze aus verschiedenen Epochen unter Umständen nicht in dieselbe Hierarchie gebracht werden könnten, da sich die Landesgrenzen zwischen den Datenerhebungen verändert haben.

Daher kommt ein von politischen Grenzen unabhängiges System auf Basis von *Quad-Trees* (Siehe [Hu u. a. \(2011\)](#)) zur Referenzierung zum Einsatz. Die Erdoberfläche auf wird Basis der Mercator-Projektion (Siehe [Unterabschnitt 2.1.2](#)) in Quadranten eingeteilt. Dieses System sieht es vor, dass es verschiedene Ebenen mit unterschiedlicher Granularität gibt. Auf der ersten Ebene unterteilt sich die Erdoberfläche in vier Quadranten mit eindeutiger Identifikationsnummer (**ID**). Auf jeder weiteren Ebene darunter unterteilt sich jeder Quadrant in weitere vier Quadranten. Daher wird auch von einem *Quad-Tree* gesprochen. Die Länge der **ID** entspricht hierbei der Ebene, sodass sich der *Quad* mit der **ID** 131 auf der 3. Ebene befindet und die *Quads* mit den **IDs** 13 auf der 2. Ebene und 1 auf der 1. Ebene als Vorgänger hat (Siehe [Abbildung 5.7](#)).

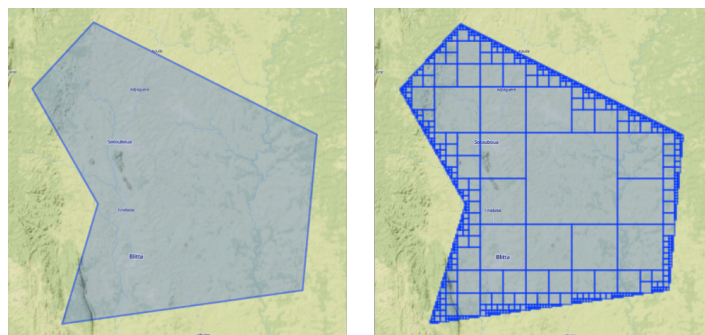


Abbildung 5.7.: Approximierung eines Polygons durch *Quads*

Nutzt man ein solches System zur Speicherung von Vektorpunktdaten ergibt sich ein weiteres Problem. Die Darstellung der Bereiche, für welche die Indikatoren erstellt werden sollen, liegen natürlicherweise nicht in Form von *Quads* vor. Oft sind es Polygonenzüge, die erst umgewandelt werden müssen, um das Potential des **DWH** mit der *Quad*-Hierarchie verwenden zu können. Hierfür wurde ein Algorithmus entwickelt, der diese Umwandlung durchführt und mit dem Ergebnis Daten des **DWH** abfragen kann.

5.2.4.2. Schnittstelle

Die Verbindung zum [DWH](#) erfolgt über die C#-Programm-bibliothek MARS-ROCK. Die folgende [API](#) von MARS-ROCK (Siehe [Quelltext 5.9](#)) bietet Funktionen zur Datenbeschaffung und gibt diese als GeoJSON, wie in [Quelltext 5.5](#), zurück.

```
1 /// <summary>This method returns all dimensions that exist within the data warehouse
  .</summary>
2 /// <returns>Mapping from DimensionIds to the names of the dimensions.</returns>
3 public List<SDimension> GetDimensions();
4
5 /// <summary>This method returns all data for the given dimension that are within the
  given area.</summary>
6 /// <param name="dimId">Id of the dimension.</param>
7 /// <param name="jsonPolygon">Polygon in json format.</param>
8 /// <returns>A GeoJSON with the requested data.</returns>
9 public string GetDataByJsonAreaAsGeoJson(SDimension dimension, string jsonPolygon);
```

Quelltext 5.9: API von MARS-ROCK

5.2.5. Zusammenfassung

Aufgrund der Vor- und Nachteile von [WMS](#), [WFS](#) und [DWH](#) müssen abhängig von dem zu erfragendem Datenset (Raster- oder Vektordaten) und des gewählten Kartenausschnitts entsprechende Schnittstellen angesprochen werden.

Für die reine Kartendarstellung kann die *GetMap*-Schnittstelle des Systems verwendet werden. Diese liefert die Karten als Bilddaten aus. Möchte man Informationen aus einem Rasterdatenset erhalten, verwendet man bei punktuellen Anfragen die *GetFeatureInfo*-Schnittstelle. Die *GetFeatureInfoBox*-Schnittstelle eignet sich nur bei rechteckigen Kartenausschnitten, wird jedoch durch die lange Ausführungsdauer und durch den Einsatz von GDAL obsolet. Für Geometrieformen mit mehreren Kanten (Polygone) verwendet man die *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle, um GDAL für den Datenerhalt auf Low-Level-Ebene zu nutzen. Die *GetFeature*-Schnittstelle eignet sich nur für den Erhalt von polygonalen Vektordaten, wie zum Beispiel Ländergrenzen oder Areale, innerhalb einer rechteckigen Geometrieform. Die Schnittstelle zum [DWH](#) (*GetDataByJsonAreaAsGeoJson*) kann für punktuelle Vektordaten in Polygonzügen verwendet werden.

5. Realisierung

Schnittstelle	Einsatzgebiet	Datenformat
<i>GetMap</i>	Texturen, Topologien, Bilder	Bilddatei
<i>GetFeatureInfo</i>	Punktuelle Informationen aus Rasterkarten	GeoJSON
<i>GetFeatureInfoBox</i>	Informationen aus Rasterkarten in einer rechteckigen Geometrieform	GeoJSON
<i>GetValuesInPolygon</i>	Informationen aus Rasterkarten in einem Polygon	Liste mit Informationen
<i>GetFeature</i>	Informationen aus polygonalen Vektordaten in einer rechteckigen Geometrieform	GeoJSON
<i>GetDataByJsonArea</i> <i>AsGeoJson</i>	Informationen aus punktuellen Vektordaten in einem Polygon	GeoJSON

Tabelle 5.7.: Zusammenfassung für den Datenerhalt von Geodaten

5.3. Web-GIS

Wie in **TA-A1 - TA-A5** beschrieben, soll das System als Webclient- / Server-Anwendung realisiert werden. Der Webclient (Frontend) ist hier eine Implementation eines Web-GIS mit Visualisierung, wie in Anforderung **FA-WC1** gefordert. Die eigentlichen GIS-Operationen und die Schnittstelle zu anderen Systemen ist im Backend, **MARS-GROUND** und dessen angebundene Nebensystemen zu finden (Siehe **Abbildung 4.2**). Das Web-GIS ist unter <http://gis.3ten.de/ground/> zu finden.

Das Web-GIS verwendet OpenLayers als Visualisierungskomponente und nutzt die Zeichnung von Geometrien und Projektionstransformationen auf Client-Seite, um die verschiedenen Geodaten dem Anwender korrekt darstellen zu können. Des Weiteren unterstützt OpenLayers die direkte Verbindung zum GeoServer. Um auf der Serverseite die Geometrien korrekt zu interpretieren, interagieren und manipulieren, wird DotSpatial verwendet. Auf der Serverseite sind die Schnittstellen aus **Abschnitt 5.1** und **Abschnitt 5.4** implementiert und somit vom Client abgekapselt, wodurch sich das Web-GIS auszeichnet.

Der Webclient ist in zwei Sektionen aufgeteilt, wie in **Abbildung 5.8** zu sehen. Auf der linken Seite befindet sich die Navigation, mit den Interaktionsmöglichkeiten zu den GIS-Operationen. Im oberen Bereich der Navigation kann zwischen den verschiedenen Funktionalitäten (Datenintegration, Klassifizierung, Indikator, Ausgabe und der Anwendungsfall Abdoulaye Wildlife Reserve (**AWR**)) gewechselt werden.

5. Realisierung

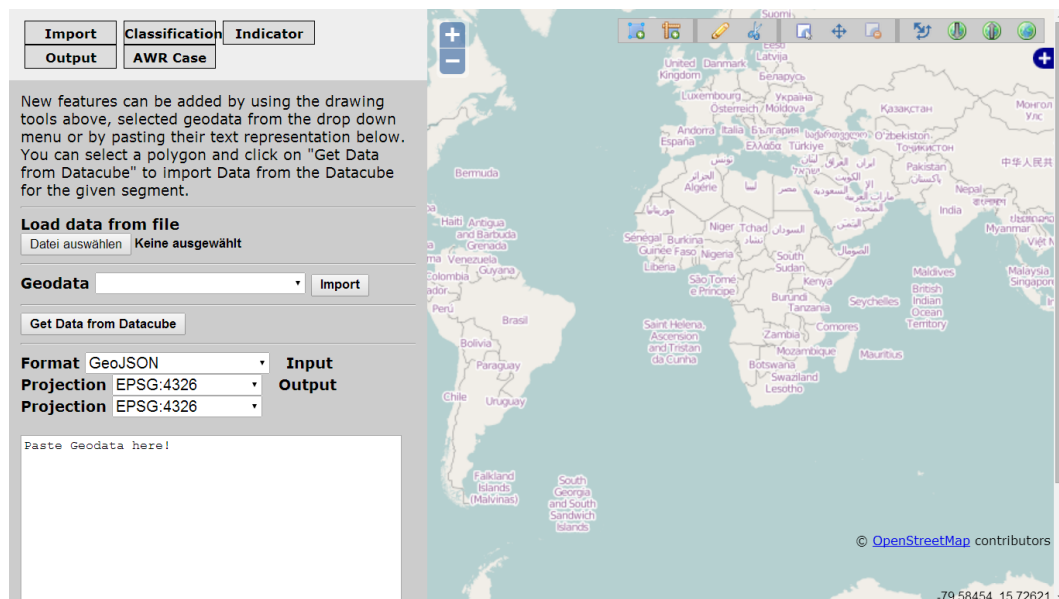


Abbildung 5.8.: Webclient des Systems

In “Datenintegration” können Geodaten aus verschiedenen Quellen und Formaten integriert werden. Der Datenimport kann über lokale Dateien, die vom Benutzer in das Web-GIS hochgeladen werden, oder über den textuellen Import hinzugefügt werden (Siehe Anforderung [FA-WC2](#) und [FA-WC3](#)). Die unterstützten Formate sind wie in [TA-GM1](#) gefordert GeoTIFF, Erdas Imagine, ESRI Shapes und GeoJSON. Neben diesen Importmöglichkeiten können Daten aus dem [DWH](#) integriert werden. Um Daten und Informationen zu einer Geometrie zu erhalten, muss diese erst selektiert werden. Nach dem Abschicken der Anfrage “Get Data from Datacube” werden die zugehörigen Informationen, die sich in dieser Geometrie befinden, angezeigt (Siehe [Abbildung 5.9](#)).

In “Klassifizierung” können Klassifizierungs-Operationen auf die Geodaten angewandt werden, wie in [FA-GIS6](#) gefordert. Bei vorheriger Segmentierung der Daten, also einer Einteilung von Geodaten in Areale, kann die Klassifizierung anknüpfen (Siehe [Abbildung 2.20](#)). Es werden die in [Unterabschnitt 3.2.2](#) erwähnten Algorithmen angeboten.

In “Indikator” können die spatiale Indikatoren mittels arithmetischer Formeln erstellt werden, wie in [FA-GIS1](#) gefordert und in [Abschnitt 5.4](#) beschrieben. Dadurch entstehen neue Geodaten (Siehe Anforderung [FA-WC5](#)). Des Weiteren können zu einem bestimmten Areal enthaltende Geodaten wiedergegeben und in tabellarischer Form dargestellt werden (Siehe Anforderung [FA-GIS2](#)). Es muss eine Geometrie selektiert

5. Realisierung

werden, um diese Funktionalitäten zu nutzen. Nach der Selektierung und Manipulation können diese Daten als GeoJSON und CSV exportiert werden (Siehe Anforderung **TA-G1**).

In "Ausgabe" werden die selektierten Geometrien im textuellen GeoJSON-Format angezeigt. Dies dient dem Benutzer zur schnellen Validierung der Geometrie. Des Weiteren lässt sich diese Ausgabe wiederum in "Datenintegration" oder anderen GIS importieren.

In "Anwendungsfall **AWR**" werden für das Experiment spezifische Funktionalitäten angeboten, um den Szenarien-Ersteller bei der Umsetzung und Konfiguration des Anwendungsfalles zu unterstützen. Diese Funktionalitäten sind speziell auf das Experiment abgestimmt und gehören nicht zum grundlegenden Funktionsumfang des Systems. Eine umfassende Erklärung ist im folgenden **Kapitel 6** zu finden.

Auf der rechten Seite befindet sich eine Karte zur Visualisierung der Geodaten mit Hilfe des OpenLayers-Frameworks, wie in **FA-WC1** gefordert. Das OpenLayers-Framework erlaubt es, neue Geodaten zu zeichnen und somit zu erzeugen (Siehe Anforderung **FA-WC4** und **FA-GIS2**). Im oberen Bereich befinden sich Zeichen- und Selektierungswerkzeuge, mit denen Vektordaten direkt auf die Rasterkarten gezeichnet und erstellt werden können (Siehe **Abbildung 5.9**).

a	b	c	d	Height
Plot code	Trees	Biomass	Ø Biomass	Height
Feature 38	2436	611257.2371185883	250.9266162227374	238362.91

a	b	c
Biomass	Height (m)	Diameter (cm)
272.42665819830046	106.1987178962841	105.8395579725897
299.670799125184	116.7777342931635	116.3132397067445
214.33971794071414	83.64331065922966	83.50873363859532
219.98740728189964	85.83633257558328	85.679919760841
223.53488881274828	87.21383482031153	87.0437062943058
233.42311374663123	91.05347483657486	90.84511523398093
231.77201823111358	90.41234738908616	90.21037145591016

Abbildung 5.9.: Webclient des Systems

5.4. Geodatenverschneidung

Wie in **FA-GIS1** gefordert, soll das System die Verschneidung von Geodaten unterstützen. Aufgrund der Datenmodelle muss zwischen der Verschneidung von Raster- und Vektordaten unterschieden werden. Abhängig vom Datenmodell ist die Vorgehensweise bei der Verschneidung zweier Datensets unterschiedlich. Aufgrund von **I-DS6** werden die Schnittstellen von DotSpatial verwendet, um die Verschneidung von Geodaten durchzuführen. In "Indikator" können Geodaten mittels arithmetischer Formeln, wie in **Abbildung 5.9** zu sehen ist, verschnitten werden.

5.4.1. Raster und Raster

Zwei Rasterdatensets können miteinander nur verschnitten werden, wenn diese zuvor das gleiche segmentierte Gebiet referenzieren, homogenisiert bezüglich Projektion und Qualität sind, gleiche Zellgrößen besitzen und eine Klassifizierung vorgenommen wurde, bei der auf die Werte arithmetische Formeln angewandt werden können (Vgl. **Abschnitt 2.4**).

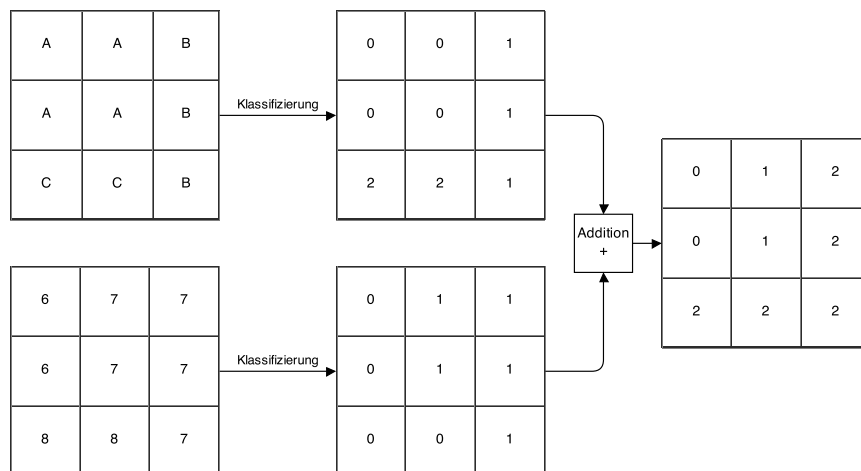


Abbildung 5.10.: Verschneidung von Rasterdaten

5.4.2. Raster und Vektor

Bei der Verschneidung von Raster- und Vektordaten werden Vektordaten in die Form der Rasterdaten konvertiert, um anschließend die gleiche Vorgehensweise wie bei der

Verschneidung von Raster und Raster durchzuführen. Die Umwandlung von Vektor- in Rasterdaten wird in [Unterunterabschnitt 2.1.1.3](#) beschrieben.

5.4.3. Vektor und Vektor

Die Vektordatenverschneidung muss aufgrund des Datenmodells anders als die Rasterdatenverschneidung behandelt werden. Dabei wird in drei Arten von Vektordatenverschneidung unterschieden:

1. Punkt-In-Polygon (*Point-in-Polygon*)

Die Verschneidung von einem Polygon und mehrerer Punkte ermittelt alle Punkte innerhalb des Polygons. Mit Hilfe einer Implementierung des Jordanschen Kurvensatzes (siehe [Ding u. a. \(2010\)](#)) können Punkte in Polygonen ermittelt werden.

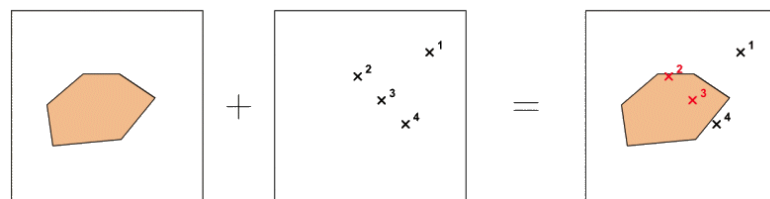


Abbildung 5.11.: Punkt-In-Polygon. Geändert nach [Chang \(2006\)](#)

2. Linie-In-Polygon (*Line-in-Polygon*)

Bei der Verschneidung von Linien und Polygonen ändert sich die Topologie der verschnittenen Daten, da die ursprüngliche Linie durch die neuen Schnittpunkte in kleinere Segmente unterteilt wird.

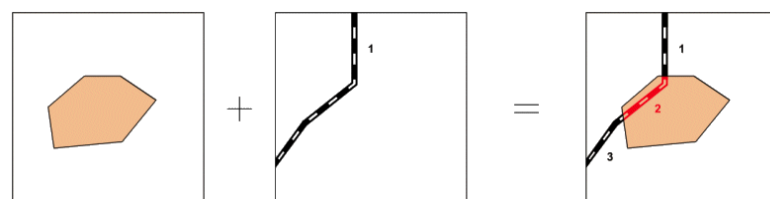


Abbildung 5.12.: Linie-In-Polygon. Geändert nach [Chang \(2006\)](#)

3. **Polygon-In-Polygon** (*Polygon-on-Polygon*)

Durch Verschneidung mehrerer Polygone entstehen komplett neue Topologien mit veränderten Schnittpunkten und Areale, für die die Informationen neu zugeordnet werden müssen.

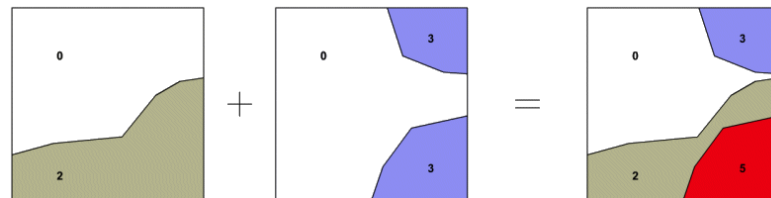


Abbildung 5.13.: Polygon-In-Polygon. Geändert nach [Chang \(2006\)](#)

6. Experiment

In diesem Kapitel werden die geschaffenen Werkzeuge aus [Kapitel 5](#) an praktischen Experimenten angewandt, um die Hypothesen aus [Kapitel 1](#) zu beweisen.

6.1. Beschreibung des Untersuchungsgebiets

Die Doktorarbeit von [Pereki u. a. \(2014\)](#), welche an der HAW Hamburg im Rahmen der [MARS-GROUP](#) ausgearbeitet wird, untersucht unter Anderem die beschädigte Waldbiomasse und deren Entwicklung im Dahomey Gap in Westafrika ([AWR](#)). Mit dem Ausdruck Biomasse werden Stoffgemische bezeichnet, die in Lebewesen gebunden oder von ihnen erzeugt werden. Der Umfang dieser Stoffgemische wird in ihren Massen angegeben. Biomasse hat für Menschen eine wichtige Funktion als Lebensmittel und als Futtermittel in der Tierzucht, Rohstoff und Energieträger. Darüber hinaus sind große Mengen Kohlenstoff in Biomasse gespeichert, die beim Abbau der Biomasse als das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt werden. Biomasse spielt deshalb eine bedeutende Rolle für das Klima. Die aggregierte Biomasse innerhalb eines Areals ist ein Indikator und kann Rückschluss über die Beschaffenheit der Bäume geben. So ist ein niedriger Biomassewert ein Indiz für eine geringe Dichte von Bäumen und die geringe Artenvielfalt innerhalb des Areals und gibt Auskunft über den Durchmesser der Stämme. Bei niedrigen Biomassewerten müssen die Gebiete auf Schwachstellen gesondert untersucht und entsprechend behandelt werden.

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen 08° 34' und 08° 46' nördlichem Breitengrad und 01° 13' und 01° 25' westlichem Längengrad. Die Gesamtfläche vom AWR beträgt 31868 Hektar ([UNEP-WCMC \(2006\)](#)). Die Waldfläche beträgt 17563 Hektar ([Kokou u. a. \(2006\)](#)). Dieser Bereich liegt im Tiefland, mit Höhen von 243 bis 359 Metern über dem Meeresspiegel ([Jarvis u. a. \(2008\)](#)).

Das Ziel von [Pereki u. a. \(2014\)](#) ist die Simulation der Entwicklung der Baumbiomasse für ein bestimmtes Areal (*M*). Für den Start der Simulation in [MARS-LIFE](#) werden Anfangswerte der Bäume für ein festgelegtes Areal benötigt. Dieses bestimmte Areal

6. Experiment

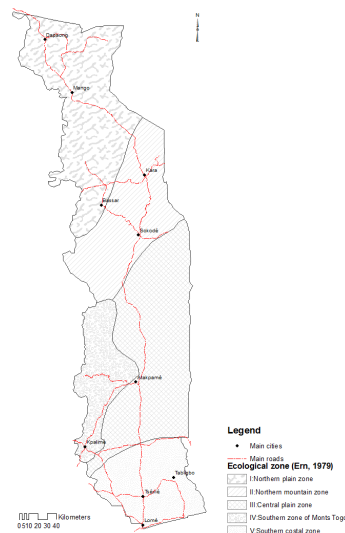


Abbildung 6.1.: Untersuchungsgebiet im AWR. Quelle: [Pereki u. a. \(2014\)](#)

kann eine selbst definierte Region (Polygon) im [AWR](#) sein. Zu diesem Zwecke wurde eine Stichprobe (Q_1) durchgeführt, um die Biomasse von verschiedenen Baumarten zu ermitteln. Das Stichprobefahren basiert auf der “*line transect*” Herangehensweise ([Plumptre \(2000\)](#); [Buckland u. a. \(2001\)](#); [Marshall u. a. \(2008\)](#)), eine weit verbreitete und empfohlene Methode zur Bestimmung der relativen Dichte von tropischen Wäldern. Die Stichprobe umfasst 30 quadratische Areale (30 x 30 Meter), sogenannte Patches ([Dourma u. a. \(2009\)](#)). Zwei Patches liegen mindestens 500 Meter voneinander entfernt. In jedem Patch wurde der Durchmesser auf Brusthöhe sowie die totale Höhe jeder individuellen Spezies ermittelt. Insgesamt besteht die Stichprobe aus 912 Datensätzen, unterteilt in 30 Patches, welche 20 bis 40 Bäume beinhalten.

Diese Stichprobe umfasst nur einen kleinen Teil des [AWR](#). Der [AWR](#) besitzt ungefähr vier Millionen Bäume, die Stichprobe enthält jedoch nur knapp über 900. Um eine Aussage über die restlichen Bäume und deren Biomasse treffen zu können (A_2), versucht [Pereki u. a. \(2014\)](#) mit Hilfe der berechneten Biomasse der bekannten Patches seiner Stichprobe ($A_{1.2}$) einen Rückschluss auf unbekannte Areale zu erhalten. Dabei soll ein Satellitenbild mit dem [NDVI](#) (Q_2) helfen, indem [Pereki u. a. \(2014\)](#) die Biomasse in Relation zum [NDVI](#) setzt ($A_{1.4}$). So können mittels des Satellitenbilds (Q_3) und der bijektiven Relation Bäume aus dem [NDVI](#) ermittelt werden ($A_{2.4}$).

Der **NDVI** ist der am häufigsten angewandte und standardisierte Vegetationsindex und wird auf Basis von Satellitenbilddaten errechnet, der das Erstellen eines Bildes mit Grünanteilen (relative Biomasse) ermöglicht. Mit dem **NDVI** lassen sich die mit Vegetation bedeckten Bereiche und deren Beschaffenheit auf der Erdoberfläche feststellen.

Gesunde Vegetation reflektiert im sichtbaren Spektralbereich (Wellenlänge 400 bis 700 nm) relativ wenig, im darauf folgenden Infrarot-Bereich (Wellenlänge 700 bis 1300 nm) dagegen relativ viel Strahlung. Je gesünder eine Pflanze ist, desto höher ist die Reflexion im nahen Infrarotbereich. Verfaulte und vertrocknete Blätter, Boden, Fels oder auch tote Pflanzen zeigen dagegen keinen deutlichen Unterschied des Reflexionsgrades beider Bereiche. Messungen dieser Spektralbereiche mit Hilfe von Sensoren meteorologischer Satelliten lassen es daher zu, mit Vegetation bedeckte Bereiche auf der Erdoberfläche von unbedeckten Flächen zu unterscheiden. Zudem lassen sie Rückschlüsse auf die Vitalität, photosynthetische Aktivität sowie die Dichte der Vegetationsdecke zu. Des Weiteren kann mit dem **NDVI** Trockenheit überwacht, landwirtschaftliche Produktion geplant, Zonen mit Brandgefahr erkannt und das Vordringen der Wüste kartografisch dargestellt werden ([Lillesand \(2006\)](#)).

Man berechnet den **NDVI** aus den Reflexionswerten im nahen Infrarotbereich und des roten sichtbaren Bereichs (rot, etwa 620 bis 700 nm) des Lichtspektrums (Siehe F_2). Dieser Index gibt Werte zwischen -1.0 und 1.0 aus. Negative Werte stellen Wasser, Wolken und Schnee dar. Werte um Null weisen auf nackte Erde und Steine hin. Werte zwischen 0.2 bis 0.3 entsprechen Gras- und Strauchflächen. Ein **NDVI** zwischen 0.6 bis 0.8 repräsentiert tropische Regenwälder.

6.2. Vorgehensweise

Das Vorhaben lässt sich folgendermaßen unterteilen:

Motivation (*M*): Simulation der Entwicklung der Baumbiomasse für ein bestimmtes Areal im **AWR**.

Problem (*P*): Für weite Teile des **AWR** sind keine Baumwerte und somit keine Baumbiomasse vorhanden.

Lösung (L): Mit Hilfe einer bijektiven Relation zwischen Baumbiomasse und **NDVI** werden Bäume in selektierten Arealen generiert. Zu diesem Zweck werden Satellitenbilder verwendet, welche die Position der Bäume und den **NDVI** flächendeckend beinhalten. So können aus den Satellitenbildern direkt Bäume extrahiert werden.

Verwendete Quellen (Q)

Q_1

Stichprobe aus 912 Datensätzen, unterteilt in 30 Patches, welche 20 bis 40 Bäume mit dem Durchmesser auf Brusthöhe und der totalen Höhe beinhalten.

Q_2

Satellitenbild mit Reflexionswerten des elektromagnetischen Spektrums zur Bestimmung des **NDVI**.

Q_3

Satellitenbild mit Höhenwerten zur Standortbestimmung der Bäume, die noch nicht in Q_1 abgedeckt sind.

Formeln (F)

Pereki u. a. (2014) verwendet eine vereinfachte Formel zur Berechnung der Baumbiomasse (kg, *AGB*) eines Baumes anhand des Durchmessers (cm, (*D*)) seines Stammes, siehe **Gleichung 6.1**.

$$F_1 : \ln AGB = -2.58977 + 2.65162 * \ln D \quad (6.1)$$

Man errechnet den **NDVI** aus den Reflexionswerten im nahen Infrarotbereich (*NIR*) und dem roten sichtbaren Bereich (*Rot*, etwa 620 bis 700 nm) des Lichtspektrums, siehe **Gleichung 6.2**.

$$F_2 : NDVI = \frac{NIR - Rot}{NIR + Rot} \quad (6.2)$$

Die bijektive Relation zwischen Baumbiomasse (kg, *AGB*) und **NDVI**, welche nach Schritt A1.4 ermittelt wurde, ist in **Gleichung 6.3** dargestellt.

$$F_3 : AGB = 10.95699 + 2.11647 * \ln(NDVI^2) \quad (6.3)$$

Zur Generierung der Höhe (m, *H*), dem Durchmesser auf Stammhöhe (cm, *D*) und dem Durchmesser der Baumkrone (m, *C*) abhängig von der Biomasse eines Baumes (kg, *AGB*) entwickelte **Pereki u. a. (2014)** die in **Gleichung 6.4 - Gleichung 6.6** abgebildeten Formeln.

$$F_4 : H = \frac{AGB + 1.0669}{2.5753} \quad (6.4)$$

$$F_5 : D = \frac{AGB + 2.8832}{2.6012} \quad (6.5)$$

$$S = \frac{AGB - 1.6316}{1.6896}, E = \frac{AGB - 2.0837}{1.1839}, F_6 : C = \frac{S + E}{2} \quad (6.6)$$

6.2.1. Anwendungsfall 1 (A1): Ermittlung der Relation zwischen Baumbiomasse und NDVI

Ziel: Ermittlung der Relation zwischen Baumbiomasse und NDVI für ausgewählte Patches mittels der Stichprobe Q_1

Die einzelnen Schritte lauten:

A1.1

Verteilung von Bäumen mit Attributen (Basisindikatoren) mit Hilfe von Q_1

A1.2

Ermittlung der Baumbiomasse für jeden Baum und jedes Patch aus A1.1 mit Hilfe von F_1

A1.3

Ermittlung des NDVI pro Patch mit Hilfe von Q_2 und F_2

A1.4

Ermittlung der Relation zwischen Baumbiomasse aus A1.2 und NDVI aus A1.3 (Baumbiomasse \rightarrow NDVI, F_3)

6.2.2. Anwendungsfall 2 (A2): Ermittlung von Bäumen für ein unbekanntes Areal mit Hilfe des NDVI

Ziel: Generierung von Bäumen mit Attributen für unbestimmte Areale anhand von Satellitenbildern (Standort Bäume und NDVI)

Die einzelnen Schritte für ein ausgewähltes unbestimmtes Areal lauten:

A2.1

Standortbestimmung der Bäume für ein gewähltes Areal mit Hilfe von Q_3

6. Experiment

A2.2

Ermittlung des **NDVI** für ein gewähltes Areal mit Hilfe von Q_2 und F_2

A2.3

Ermittlung der Baumbiomasse für ein gewähltes Areal mit Hilfe von F_3 (**NDVI** aus A2.2 → Baumbiomasse)

A2.4

Verteilung der Baumbiomasse aus A2.3 auf Bäume aus A2.1 und Ermittlung der Attribute mittels $F_4 - F_6$

Die Schritte A1.4 und A2.1 wurden von [Pereki u. a. \(2014\)](#) durchgeführt. Die restlichen Schritte werden im Folgenden mit Hilfe des Systems behandelt. Die Vorgehensweise ist in [Abbildung 6.2](#) visuell dargestellt.

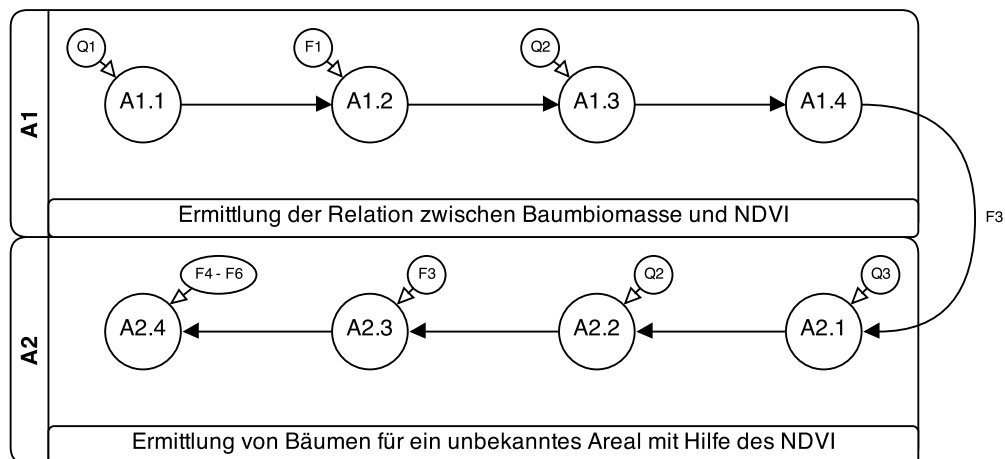


Abbildung 6.2.: Vorgehensweise des Experiments

6.3. Durchführung

Anhand der Vorgehensweise werden im folgenden Abschnitt die einzelnen Schritte mit Hilfe des System durchgeführt.

A1.1

[Pereki u. a. \(2014\)](#) hat die Informationen der Baumstichprobe in einer Excel-Tabelle (Siehe [Tabelle A.1](#)) hinterlegt (Q_1). Alle registrierten Bäume enthalten die Baumart, die Höhe in Metern und der Umfang in Zentimetern, die geographische Position und den dazugehörigen Patch. Die genauen Positionen und Ausmaße der einzelnen Patches liegen nicht vor und mussten aus den Baumdaten extrahiert werden, indem um den berechneten Mittelpunkt der Bäume ein 30x30 Meter großes Quadrat aufgezogen wurde, welches alle Bäume innerhalb eines Patches einbezieht. Die bereinigten Daten (Punktdaten mit Informationen, siehe [Tabelle 6.1](#)) wurden anschließend in das [DWH](#) importiert und können mittels der *GetDataByJsonArea*-Schnittstelle angefragt werden (Siehe [Quelltext 6.1](#)).

Patch	Spezies	Familie	H (m)	Ø (cm)	X (D,dd)	Y (D,dd)	Z (m)
R26	Acacia erhenbergiana	Mimosaceae	25	45,5	8,59321874	1,262318562	254
R26	Acacia erhenbergiana	Mimosaceae	7	31,2	8,59321622	1,262314158	254
R19	Aganope stuhlmannii	Fabaceae	13	105,2	8,60935712	1,388849446	357
R30	Alstonia boonei	Apocynaceae	7,5	41,6	8,59202184	1,264260488	261

Tabelle 6.1.: Bereinigte Daten für den Abdoulaye Forest, Togo (Auszug aus der Excel-tabelle)

```

1 {"type":"Feature", "properties":{}, "geometry":{
2   "type":"Polygon", "coordinates":[
3     [[1.381108, 8.610023], [1.381108, 8.609754], [1.380835, 8.609754], [1.380835,
4       8.610023], [1.381108, 8.610023]]
  ]}}

```

Quelltext 6.1: Polygon für die *GetDataByJsonArea*-Anfrage

Um die Polygone der Patches mit den Punktdaten zu verschneiden, wird hier die [GIS](#)-Funktionalität "Punkt-In-Polygon" verwendet. Aus dem resultierenden Datenset können die verschnittenen Punktdaten angezeigt werden (Siehe [Abbildung 6.3](#)). Wird

6. Experiment

ein Patch selektiert, so werden die aggregierten Werte der verschnittenen Datenmenge angezeigt und können als Indikatoren verwendet werden.

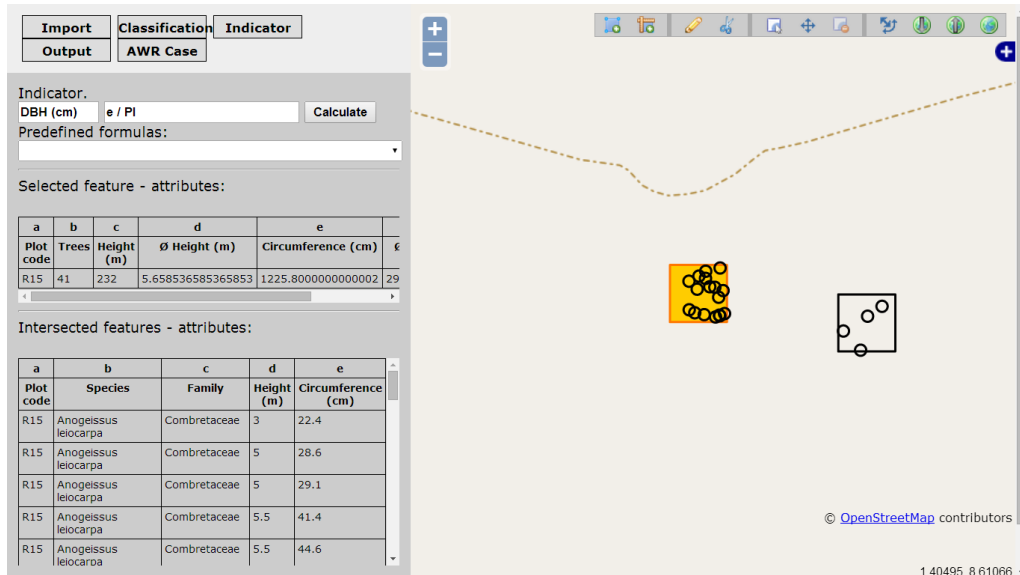


Abbildung 6.3.: Darstellung der Stichprobe

A1.2

Mit Hilfe arithmetischer Formeln kann nun F_1 auf die einzelnen Bäume im Patch angewandt werden, um die Baumbiomasse zu ermitteln (Siehe [Abbildung 6.4](#)). Da die einzelnen Subindikatoren (Höhe, Durchmesser) der Bäume homogenisiert sind, können hier Punktdaten miteinander verschnitten werden. Die berechnete Baumbiomasse ist ein SGI. Eine Klassifizierung muss hier nicht vorgenommen werden, da diese schon von [Pereki u. a. \(2014\)](#) durchgeführt worden ist.

Um nun eine Aussage über die Waldbiomasse in den jeweiligen Patches zu erhalten, wird der Mittelwert aller Baumbiomassen im jeweiligen Patch ermittelt. Das Ergebnis ist die durchschnittliche Waldbiomasse pro Patch.

6. Experiment

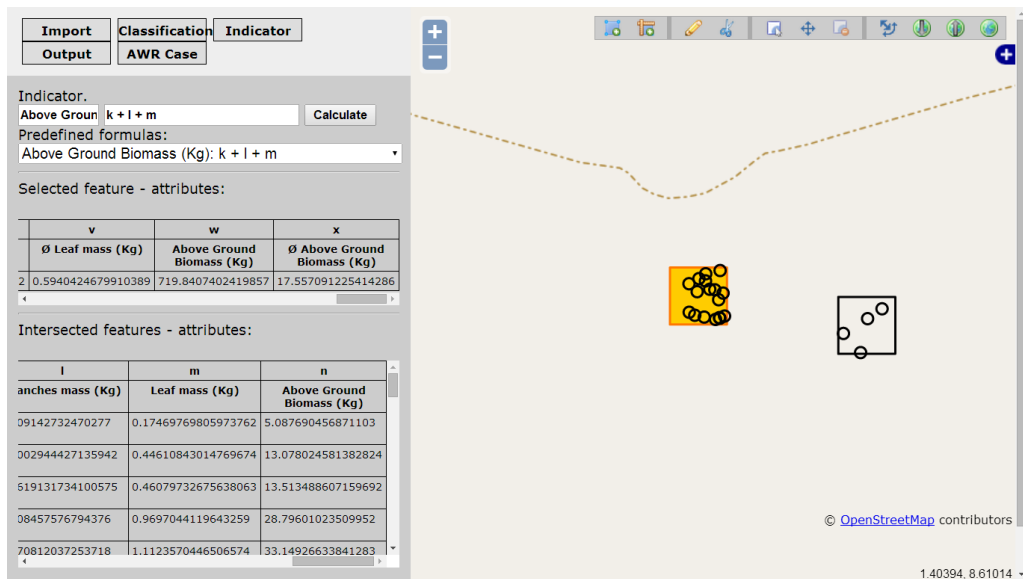


Abbildung 6.4.: Ermittlung der Baumbiomasse pro Patch

A1.3

Um den **NDVI** für einen Patch zu ermitteln, muss dieses Datenset zuerst erstellt werden. Dafür werden Rasterkarten des Rotanteils und Infrarotanteils des **AWR**, welche bereits homogenisiert sind, mittels F_2 überlagert, um den **NDVI** pro Datenpunkt zu erhalten (Siehe [Abbildung 6.5](#)).

Der **NDVI** kann anschließend mittels der *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle extrahiert werden. Das **NDVI**-Datenset und das selektierte Polygon (Siehe [Quelltext 6.1](#)) werden als Parameter an die *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle gesendet. Als Ergebnis wird ein Datenset übermittelt, welches die einzelnen **NDVI**-Werte des Polygons als Liste enthält (Siehe [Quelltext 6.2](#)).

```
[0.19113150238990784, 0.18294574320316315, 0.19848485291004181, ..., 0.19576719403266907]
```

Quelltext 6.2: NDVI-Werte der *GetValuesInPolygon*-Schnittstelle

A1.4

Mit Hilfe der Biomasse und der **NDVI**-Werte pro Patch konnte [Pereki u. a. \(2014\)](#) eine Relation zwischen diesen beiden Datensets ermitteln. Das Ergebnis ist in F_3 als Formel zu sehen und wird für die unbekanntenen Areale in A_2 verwendet.

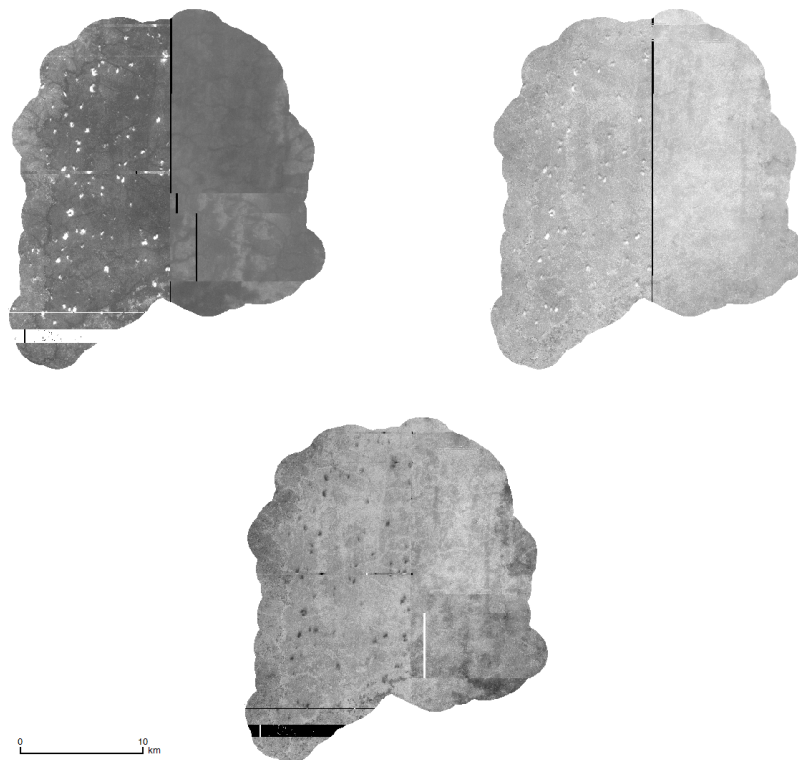


Abbildung 6.5.: Verschneidung von Rasterkarten. Links: Rotanteil, Rechts: Infrarotanteil, Unten: NDVI. Quelle: [Pereki u. a. \(2014\)](#)

A2.1

[Pereki u. a. \(2014\)](#) benutzte ein weiteres Datenset (Q_3) zur Standortbestimmung der Bäume, die noch nicht in Q_1 abgedeckt worden sind. Dieses Datenset ist ein Satellitenbild mit Höhenwerten, aber ohne weitere Informationen über die Bäume. Anhand von Vorschriften und Algorithmen gelang es [Pereki u. a. \(2014\)](#), die Positionen der restlichen Bäume im AWR zu bestimmen. Diese Punktdaten der Bäume wurden in das DWH integriert und können vom System abgefragt werden.

A2.2

Dieser Schritt ist identisch mit dem Schritt A1.3, mit der einzigen Ausnahme, dass die gewählte Geometrie eine andere ist.

6. Experiment

A2.3

Mit Hilfe der gewählten Geometrie, A2.2 und F_3 kann die Baumbiomasse für dieses Polygon ermittelt werden. Dabei wird jeder Wert aus A2.2 in F_3 eingesetzt und kumuliert (Siehe Quelltext 6.3). Die kumulierte Biomasse kann als Indikator des Patches verwendet werden (Siehe Abbildung 6.6).

```
1 using GROUND.CORE.usecase;
2
3 namespace GROUND.CORE {
4     public class AWR : Usecase {
5         public double getBiomassFromPolygon(string path, Geometry g) {
6             RasterTools rt = new RasterTools();
7             var ndvi = rt.getValuesInPolygon(path + leftAWR, g) ?? rt.
8                 getValuesInPolygon(path + rightAWR, g);
9
10            return ndvi == null ? 0.0 : ndvi.Sum(n => 10.95699 + 2.11647 * Math.Log(
11                Math.Pow(n, 2)));
12        }
13    }
14 }
```

Quelltext 6.3: Berechnung der Biomasse anhand des NDVI

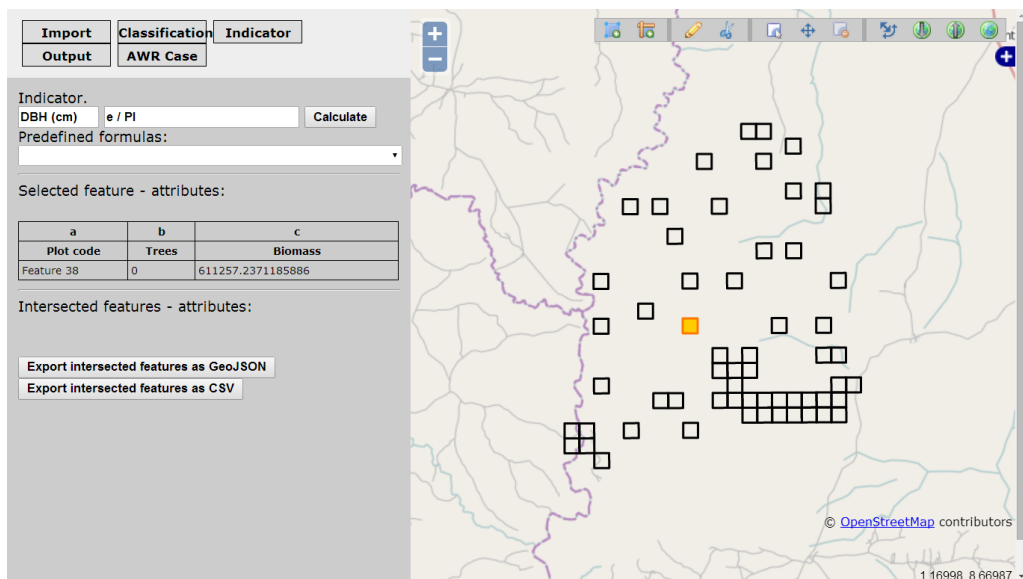
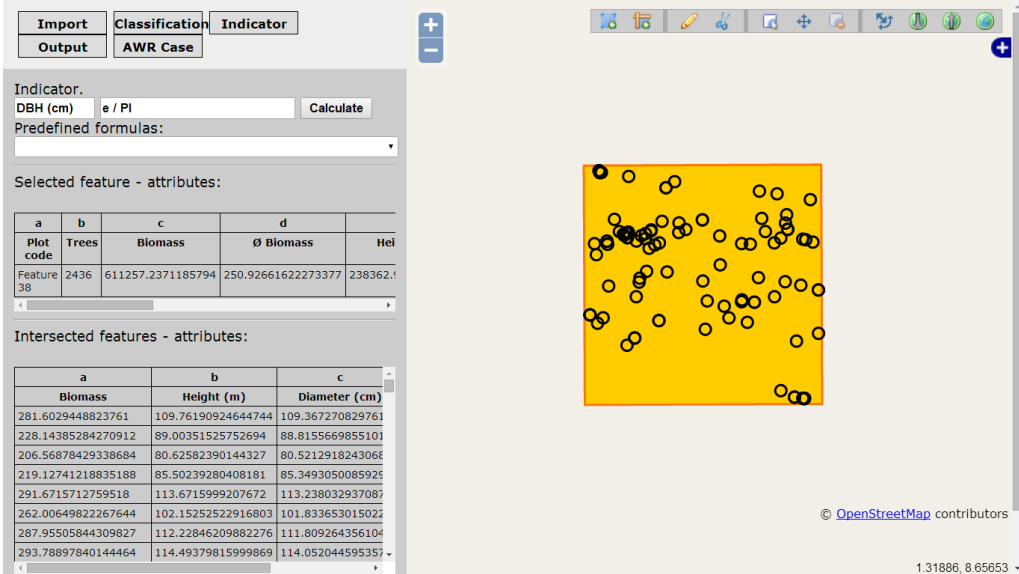


Abbildung 6.6.: Patches mit Biomasse ohne Bäume

6. Experiment

A2.4

Im letzten Schritt können nun die Bäume aus A2.1 aus dem [DWH](#) geladen und die Biomasse aus A2.3 auf diese verteilt werden. Die Biomasse wird mittels Normalverteilung und 20% Standardabweichung auf die Bäume distribuiert. Die Werte für die Höhe, dem Durchmesser auf Stammhöhe und dem Durchmesser der Baumkrone des Baumes werden mittels $F_4 - F_6$ ermittelt.



Indicator.

DBH (cm) Calculate

Predefined formulas:

Selected feature - attributes:

a	b	c	d	
Plot code	Trees	Biomass	Ø Biomass	Hei
Feature 38	2436	611257.2371185794	250.92661622273377	238362.1

Intersected features - attributes:

a	b	c
Biomass	Height (m)	Diameter (cm)
281.6029448823761	109.76190924644744	109.367270829761
228.14385284270912	89.00351525752694	88.8155669855101
206.56878429338684	80.62582390144327	80.5212918243066
219.12741218835188	85.50239280408181	85.3493050085925
291.6715712759518	113.6715999207672	113.238032937087
262.00649822267644	102.15252522916803	101.839653015022
287.95505844309827	112.22846209882276	111.809264356104
293.78897840144464	114.49379815999869	114.052044595357

© OpenStreetMap contributors

1.31886, 8.65653

Abbildung 6.7.: Verteilung der Biomasse auf Bäume und Ermittlung der Attribute

7. Diskussion

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse des letzten Kapitels im Hinblick auf die in [Kapitel 1](#) aufgestellten Hypothesen diskutiert werden. Im Anschluss werden einige Probleme aufgeführt, die während der Entwicklung des Systems identifiziert worden sind. Abschließend wird ein Ausblick auf die Weiterentwicklung des Systems gegeben werden, welche im Rahmen zukünftiger Arbeiten untersucht werden kann.

7.1. Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die aufgestellten Hypothesen

GIS können auf vielerlei Arten helfen, Entscheidungen zu treffen. Spatiale Indikatoren, wie sie von GIS angeboten werden, sind wertvolle Informationen für Entscheidungsträger und Experten. Sie unterstützen die Priorisierung von Interventionsbereichen. Gleichzeitig kann durch die Unterteilung in zugrunde liegende Faktoren/Teilindikatoren eine Aussage getroffen werden, welche Themen behandelt und Maßnahmen ergriffen werden müssen, wenn es um Klimaveränderungen und -prävention geht.

Wie in [Kapitel 6](#) gezeigt und in der [1. Hypothese](#) vermutet können spatiale Indikatoren für die räumliche Analyse eingesetzt werden und bieten dem Anwendungsersteller eine Möglichkeit zur Darstellung komplexer geographischer Wechselwirkungen, welche sonst nicht ersichtlich gewesen wären.

Die Ergebnisse der intelligenten Verschneidung von Geodaten, wie sie in [Unterabschnitt 3.2.3](#) aufgezeigt und in der [2. Hypothese](#) vermutet wurde, sind spatial gemischte Indikatoren. Diese speziellen Indikatoren setzen sich mittels arithmetischer Formeln aus Subindikatoren zusammen und eignen sich zur Beschreibung von Phänomenen, bei denen mehrere Ursachen und Faktoren beachtet werden müssen. Mit SGI können Gefahrenherde/Hotspots beschrieben werden, wodurch sie zu wichtigen Entscheidungshilfen werden.

Die Verbindung von GIS und DWH ist eine sinnvolle Ergänzung, um Geodaten miteinander zu verschneiden. Die durch heterogen skalierte Daten entstehenden Probleme können durch den Einsatz des DWH gelöst werden, wie in Hypothese 3 vermutet. Insbesondere zur Berechnung und Erstellung neuer Daten ist dieses Modell von Vorteil, da die performanten Operationen aus dem GIS, wie Segmentierung oder Klassifizierung, weiter genutzt und durch die selektiven Mechanismen eines DWH erweitert werden. Die Probleme der Georeferenzierung lassen sich mit Hilfe von Quad-Trees lösen. Somit können die Daten im DWH in einer hierarchischen Struktur hinterlegt werden, um schnelle Zugriffszeiten zu gewährleisten.

7.2. Offene Probleme

Durch den Einsatz von SGI werden unterschiedliche Datensets miteinander verschneiden. Die Wahl der Gewichte ist jedoch von Anwendungsfall zu Anwendungsfall unterschiedlich, weshalb eine generische Lösung schwer umzusetzen ist. Die Implementierung der SGI muss demnach mit dem jeweiligen Experten oder Fachliteratur vorgenommen werden.

Die Hinterlegung der Daten in ein bestimmtes System wird durch den Einsatz eines DWH erschwert. Es ist nicht eindeutig, welche Daten in welches System (GIS oder DWH) gehören. Zwar gibt es zahlreiche Im- und Exporter für GIS, im Bereich der DWH fehlt es jedoch an Open-Source Lösungen, die mit den kommerziellen Produkten mithalten können.

Die Performanz des Gesamtsystems ist stark abhängig vom DWH. Die prototypische Entwicklung im Rahmen der MARS-Forschungsgruppe bot noch keine Gelegenheit zur Optimierung der rechenintensiven Anfragen, wodurch das System teilweise eingefroren wird, da auf die Antwort vom DWH gewartet werden muss.

7.3. Ausblick

Um ein umfassendes Bild des Untersuchungsgebietes bezüglich möglicher Risiken zu erhalten, sollten auch Schwachstellen aus den sozial-ökologischen Systemen miteinbezogen werden. In dieser Ausarbeitung wurden die spatialen Indikatoren nur aus geographischen Phänomenen bestimmt.

7. Diskussion

Die visuelle Darstellung mit OpenLayers im Webbrowser ist rudimentär und nicht ansprechend. Hier könnten dreidimensionale Frameworks, wie sie in der Spiele-Branche eingesetzt werden, optimal verwendet werden, um die Ergebnisse und die Interaktion mit dem System zu vereinfachen und visuell ansprechend zu machen. Durch die Aufteilung in Webclient und Server ist die Visualisierung nicht abhängig von umfangreichen GIS-Operationen, wie sie auf dem Server stattfinden müssen.

Unzählige Geodatenquellen erschweren die sinnvolle Datenintegration aufgrund der dezentralen Speicherung der Geodaten. Mit Hilfe eines Geoservicebrokers ([Moreri u. a. \(2009\)](#)), welcher durch eine zentralisierte und harmonisierte Ansicht Geodaten anbietet, wird ein System geschaffen, welches die unterschiedlichen Datenquellen miteinander verbinden kann. Ein Geoservicebroker besteht aus mehreren Funktionalitäten, die sich hauptsächlich auf den Abruf, die Entdeckung und Verkettung von registrierten Daten und Diensten konzentrieren.

Patch	Spezies	Familie	H (m)	Ø (cm)	DBH (cm)	Grundfläche m²	...	Biomasse (Kg)	X (D,dd)	Y (D,dd)	Z (m)
R26	Acacia erhenbergiana	Mimosaceae	25	45,5	14,4831	0,016474526	...	144,065156	8,593139	1,262417	254
R26	Acacia erhenbergiana	Mimosaceae	7	31,2	9,931268	0,007746389	...	21,18746983	8,593139	1,262417	254
R19	Aganope stuhlmannii	Fabaceae	13	105,2	33,4862	0,088068706	...	378,2574559	8,609472	1,388972	357
R30	Alstonia boonei	Apocynaceae	7,5	41,6	13,24169	0,013771359	...	38,9623373	8,592111	1,264167	261

Tabelle A.1.: Gesammelte Daten für den Abdoulaye Forest, Togo (Auszug aus der Exceltabelle)

B. Inhalt der DVD

Dieser Arbeit liegt eine DVD mit folgender Verzeichnisstruktur bei:

- **Ausarbeitung**/ Enthält die Arbeit im PDF-Format.
- **Quellcode**/ Der Quellcode des entwickelten Systems, MARS-GROUND.

Literaturverzeichnis

- [Albertz 2001] ALBERTZ, Jörg: Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. (2001). ISBN 3-534-14624-7
- [Bandyophadyay u. a. 2012] BANDYOPHADYAY, M. ; PRATAP SINGH, M. ; SINGH, V.: Integrated visualization of distributed spatial databases An open source Web-GIS approach. In: *Recent Advances in Information Technology (RAIT), 2012 1st International Conference on*, March 2012, S. 619–621
- [Bartelme 2005] BARTELME, Norbert: *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen*. Springer, 2005. – URL <http://books.google.de/books?id=ySecp4Ccs30C>. – ISBN 9783540202547
- [Buckland u. a. 2001] BUCKLAND, S. T. ; ANDERSEN, D. R. ; BURNHAM, K. P. ; LAAKE, J. L. ; BORCHERS, D. L. ; THOMAS, L.: Introduction to distance sampling: Estimating abundance of biological populations. (2001). – URL <http://www.worldcat.org/isbn/0198509278>
- [By und Huisman 2009] BY, Rudolphus A. ; HUISMAN, Otto: *Principles of Geographic Information Systems: An Introductory Textbook*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 2009 (ITC educational textbook series). – ISBN 9789061642695
- [Carnahan 1977] CARNAHAN, J.A.: Inside back cover, "Australia: a geography". (1977)
- [Chang 2006] CHANG, K.T.: *Introduction to Geographic Information Systems*. McGraw-Hill Higher Education, 2006. – URL <http://books.google.de/books?id=M-xOAAAAMAAJ>. – ISBN 9780073312798
- [Chrisman 2013] CHRISMAN, N.: Progress and missed opportunities in spatial analysis for Digital Earth. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International*, July 2013, S. 1163–1165. – ISSN 2153-6996
- [Ding u. a. 2010] DING, Jian ; WU, Kehong ; GUAN, Hongjun ; WANG, Daqing ; RUI, Ting: Point-in-polygon algorithm based on monolithic calculation for included angle of half plane continuous chains. In: *Geoinformatics, 2010 18th International Conference on*, June 2010, S. 1–4

- [Dourma u. a. 2009] DOURMA, M. ; WALA, K. ; BELLEFONTAINE, R. ; BATAWILA, K. ; GUELLY, K. ; AKPAGANA, K.: Comparaison de l'utilisation des ressources forestières et de la régénération entre deux types de forêts claires à Isoberlinia au Togo. In: *Bois et Forêts des Tropiques* 302 (2009), S. 5–19
- [Environment 2011] ENVIRONMENT, United N.: Livelihood Security: Climate Change, Migration and Conflict in the Sahel. (2011). – URL http://www.unep.org/pdf/UNEP_Sahel_EN.pdf
- [Gerçek u. a. 2011] GERÇEK, Deniz ; TOPRAK, Vedat ; STROBL, Josef: Object-based Classification of Landforms Based on Their Local Geometry and Geomorphometric Context. In: *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 25 (2011), Juni, Nr. 6, S. 1011–1023. – URL <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2011.558845>. – ISSN 1365-8816
- [Gerçek und Zeydanlı 2009] GERÇEK, Deniz ; ZEYDANLI, Uğur: OBJECT-BASED CLASSIFICATION OF LANDSCAPE INTO LAND MANAGEMENT UNITS (LMUs). (2009). – URL <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.409.8116>
- [Gloucester 2011] GLOUCESTER: *Biodiversity Indicators and the 2010 Biodiversity Target: Outputs, Experiences and Lessons Learnt from the 2010 Biodiversity Indicators Partnership*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2011 (CBD technical series). – ISBN 9789292252724
- [GRASS Development Team 2012] GRASS DEVELOPMENT TEAM: Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software. (2012). – URL <http://grass.osgeo.org>
- [Hagenlocher u. a. 2014] HAGENLOCHER, M. ; LANG, S. ; HOLBLING, D. ; TIEDE, D. ; KIENBERGER, S.: Modeling Hotspots of Climate Change in the Sahel Using Object-Based Regionalization of Multidimensional Gridded Datasets. In: *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of 7* (2014), Jan, Nr. 1, S. 229–234. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6515704>
- [Hay und Castilla 2006] HAY, G.J. ; CASTILLA, G.: Object-based image analysis: Strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT). In: *Proceedings OBIA*. 2006
- [Hüning u. a. 2014] HÜNING, C. ; WILMANS, J. ; FEYERABEND, N. ; THIEL-CLEMEN, T.: MARS – A next-gen multi-agent simulation framework. In: *Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Workshop Osnabrück, Gesellschaft für Informatik* (2014)

- [Hu u. a. 2011] HU, Chunyang ; ZHAO, Yongwang ; LI, Jing ; MA, Dianfu ; LI, Xuan: Geospatial Web Service for Remote Sensing Data Visualization. In: *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2011 IEEE International Conference on*, March 2011, S. 594–601. – ISSN 1550-445X
- [Hu u. a. 2010] HU, Zunying ; GU, Fengxia ; LIU, Wenbao: The application of spatial analysis functions of GIS technology in urban planning. In: *Information Science and Engineering (ICISE), 2010 2nd International Conference on*, Dec 2010, S. 4125–4128
- [Huo u. a. 2011] HUO, Xiao-Jiao ; MOON, Kwang-Seok ; LEE, Suk-Hwan ; SEUNG, Teak-Young ; KWON, Seong-Geun: Protecting GIS vector map using the k-means clustering algorithm and odd-even coding. In: *Frontiers of Computer Vision (FCV), 2011 17th Korea-Japan Joint Workshop on*, Feb 2011, S. 1–5
- [Jarvis u. a. 2008] JARVIS, A. ; REUTER, H. I. ; NELSON, A. ; GUEVARA, E.: Hole-filled seamless SRTM data V4. (2008)
- [Jingtao und Sheng 2010] JINGTAO, Qin ; SHENG, Wu: Studies on multi-source image data management based on GeoRaster. In: *Geoscience and Remote Sensing (IITA-GRS), 2010 Second IITA International Conference on* Bd. 1, Aug 2010, S. 487–491
- [Jovanovic u. a. 2012] JOVANOVIC, Z. ; TOMIC, M. ; RANDIC, S.: Realization of Web GIS platform using open source technologies. In: *Telecommunications Forum (TELFOR), 2012 20th*, Nov 2012, S. 1488–1491
- [Kehe u. a. 2010] KEHE, Wu ; XUERONG, Xu ; XIAOHUI, Wang ; XIAODONG, Zhang: Design and Implementation of Cross-Platform GIS Map Projection Transformation System Based on Qt. In: *Multimedia Technology (ICMT), 2010 International Conference on*, Oct 2010, S. 1–4
- [Kelling u. a. 2009] KELLING, Steve ; HOCHACHKA, Wesley M. ; FINK, Daniel ; RIEDEWALD, Mirek ; CARUANA, Rich ; BALLARD, Grant ; HOOKER, Giles: Data-Intensive Science: A New Paradigm for Biodiversity Studies. In: *BioScience* 59 (2009), Nr. 7, S. 613–620. – URL <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/detail?accno=EJ849481>
- [Kokou u. a. 2006] KOKOU, K. ; ATATO, A. ; BELLEFONTAINE, R. ; KOKUTSE, AD. ; CABBALÉ, G.: Diversité des forêts denses sèches du Togo (Afrique de l'ouest). In: *Revue d'Écologie Terre et Vie* 61 (2006), S. 225–246
- [Li 2013] LI, Mingguo: Architecture of WebGIS based on Web2.0. In: *Conference Anthology, IEEE*, Jan 2013, S. 1–4

- [Lillesand 2006] LILLESAND, Thomas M.: *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, 2006. – ISBN 0470088273
- [Liu u. a. 2013] LIU, Nannan ; WANG, Ruifu ; XIN, Quanbo ; XU, Maojing ; KONG, Xiangchao: Research on the key technology of Open GIS based spatial information analysis and publishing. Take the example of the marine oil spilling monitoring information analysis and publishing system. In: *Geoinformatics (GEOINFORMATICS), 2013 21st International Conference on*, URL <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=6626039>, June 2013, S. 1–3. – ISSN 2161-024X
- [Liu und Ge 2013] LIU, Rui ; GE, Yongqi: WebGIS architecture research and design for forestry resources application. In: *Computer Science Education (ICCSE), 2013 8th International Conference on*, April 2013, S. 1427–1430
- [Longley 2011] LONGLEY, Paul: *Geographic Information Systems and Science*. (2011)
- [Louvain 2012] LOUVAIN, Université C.: EM-DAT the International Disaster Database. OFDA/CRED International Disaster Database. (2012). – URL www.emdat.be
- [Macmillan u. a. 2000] MACMILLAN, R. ; PETTAPECE, W. ; NOLAN, S. ; GODDARD, T.: A generic procedure automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. In: *Fuzzy sets and Systems* (2000), S. 81–109
- [Marshall u. a. 2008] MARSHALL, Andrew R. ; LOVETT, Jon C. ; WHITE, Piran C.: Selection of line-transect methods for estimating the density of group-living animals: lessons from the primates. In: *American Journal of Primatology* 70 (2008), Nr. 5, S. 452–462. – URL <http://dx.doi.org/10.1002/ajp.20516>. – ISSN 1098-2345
- [McGuire u. a. 2008] MCGUIRE, Michael P. ; GANGOPADHYAY, Aryya ; KOMLODI, Anita ; SWAN, Christopher: A user-centered design for a spatial data warehouse for data exploration in environmental research. In: *Ecological Informatics* 3 (2008), Nr. 4-5, S. 273–285. – URL <http://dblp.uni-trier.de/db/journals/ecoi/ecoi3.html#McGuireGKS08>
- [Minár und Evans 2008] MINÁR, J. ; EVANS, I. S.: Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. In: *Geomorphology* 95 (2008), Nr. 3-4, S. 236–259
- [Mitchell 2005] MITCHELL, Tyler: *Web Mapping Illustrated: Using Open Source GIS Toolkits*. (2005), Juni. ISBN 0596008651
- [Moreroi u. a. 2009] MOREROI, K.K. ; YI, Xiaolun ; MIOC, D.: Towards building a geo-service broker. In *Geoinformatics, 2009 17th International Conference*. Dept. of

- Geodesy and Geomatics Eng., Univ. of New Brunswick, Fredericton, NB, Canada (2009), S. 1 – 6. – URL <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5293554&isnumber=5292806>
- [NCDDC und NOAA] NCDDC ; NOAA: *Different GIS information layers, stacked together*. Website. – National Coastal Data Development Centre (NCDDC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA. http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/images/gis_layers.gif, abgerufen am 11. Juli 2014.
- [Parry u. a. 2007] PARRY, M. L. ; CANZIANI, O. F. ; PALUTIKOF, J. P. ; LINDEN, P. J. van der ; E. HANSON, C.: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, U.K. (2007). – URL http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg2/ar4_wg2_full_report.pdf
- [Pereki u. a. 2014] PEREKI, Hodabalo ; WALA, Kperkouma ; THIEL-CLEMEN, Thomas ; BESSIKE, Michael P. B. ; ZIDA, M ; DOURMA, Marra ; BATAWILA, Komlan ; AKPAGANA, Koffi: Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo , West Africa). In: *International Journal of Biodiversity and Conservation* 5 (2014), Nr. June, S. 358–366. – URL http://www.academicjournals.org/article/article1380047402_Pereki%20et%20al.pdf
- [Plumptre 2000] PLUMPTRE, Andrew J.: Monitoring mammal populations with line transect techniques in African forests. In: *Journal of Applied Ecology* 37 (2000), Nr. 2, S. 356–368. – URL <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00499.x>. – ISSN 0021-8901
- [RMGSC 2013] RMGSC, USGS: Africa Ecosystems – Geospatial Approach. (2013). – URL http://rmgsc.cr.usgs.gov/ecosystems/images/Africa_method.pdf
- [Ryschka u. a. 2014] RYSCHKA, S. ; TONN, J. ; HA, Kyung-Hun ; BICK, M.: Investigating Location-Based Services from a Business Model Perspective. In: *System Sciences (HICSS), 2014 47th Hawaii International Conference on*, Jan 2014, S. 1173–1182
- [Sell 2006] SELL, Ellen M.: Der Einsatz höchstauflösender Satellitendaten zur Ableitung räumlicher Umweltdaten und -indikatoren für das Monitoring von Naturschutzflächen in Brandenburg, Universität Trier, Fachbereich 6, Geographie, Geowissenschaften, 2006
- [Sparks u. a. 2011] SPARKS, Tim H. ; BUTCHART, Stuart H. M. ; BALMFORD, Andrew ; BENNUN, Leon: Linked indicator sets for addressing biodiversity loss. In: *Oryx* 45 (2011), 7, S. 411–419. – URL http://journals.cambridge.org/article_S003060531100024X. – ISSN 1365-3008

- [Stepinski u. a. 2006] STEPINSKI, Tomasz F. ; GHOSH, Soumya ; VILALTA, Ricardo: Automatic Recognition of Landforms on Mars Using Terrain Segmentation and Classification. In: TODOROVSKI, Ljupčo (Hrsg.) ; LAVRAČ, Nada (Hrsg.) ; JANTKE, Klaus P. (Hrsg.): *Discovery Science* Bd. 4265. Springer Berlin Heidelberg, 2006, S. 255–266. – URL http://dx.doi.org/10.1007/11893318_26. – ISBN 978-3-540-46491-4
- [Strobl 2007] STROBL, J.: Segmentation-based Terrain Classification. In: *Advances in Digital Terrain Analysis* (2007), S. 125–141
- [Strobl 2008] STROBL, Josef: Segmentation-based Terrain Classification. (2008), S. 125–139. – URL http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-77800-4_7. ISBN 978-3-540-77799-1
- [Thiel-Clemen 2013] THIEL-CLEMEN, Thomas: Information Integration in Ecological Informatics and Modelling. In: WITTMANN, J. (Hrsg.) ; MÜLLER, M. (Hrsg.): *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften, Workshop Leipzig GI* (Veranst.), Shaker, 2013, S. 89–96
- [UNEP-WCMC 2006] UNEP-WCMC: World Database on Protected Areas. (2006). – URL <http://www.unep-wcmc.org/>
- [Vigueras u. a. 2013] VIGUERAS, Guillermo ; ORDUÑA, Juan M. ; LOZANO, Miguel ; JÉGOU, Yvon: A Scalable Multiagent System Architecture for Interactive Applications. In: *Sci. Comput. Program.* 78 (2013), Juni, Nr. 6, S. 715–724. – URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.scico.2011.09.002>. – ISSN 0167-6423
- [Wang u. a. 2014] WANG, Zhu ; ZHANG, Daqing ; ZHOU, Xingshe ; YANG, Dingqi ; YU, Zhiyong ; YU, Zhiwen: Discovering and Profiling Overlapping Communities in Location-Based Social Networks. In: *Systems, Man, and Cybernetics: Systems, IEEE Transactions on* 44 (2014), April, Nr. 4, S. 499–509. – ISSN 2168-2216
- [Wei u. a. 2012] WEI, Jinbiao ; LI, Manchun ; WANG, Yafei ; CHEN, Chong ; HONG, Wuyang ; CHEN, Zhenjie: Parallel algorithm designed for polygon vectorization. In: *Geoinformatics (GEOINFORMATICS), 2012 20th International Conference on*, June 2012, S. 1–4. – ISSN 2161-024X
- [Zhou u. a. 2012] ZHOU, Guiyun ; LIN, Jiayuan ; ZHENG, Wenfeng: A web-based geographical information system for crime mapping and decision support. In: *Computational Problem-Solving (ICCP), 2012 International Conference on*, Oct 2012, S. 147–150

Abkürzungsverzeichnis

API	application programming interface	35
AWR	Abdoulaye Wildlife Reserve	68
CCCI	Cumulative climate change impact	39
DEM	Digital elevation model	12
DWH	Datawarehouse	3
GDAL	Geospatial Data Abstraction Library	27
GE	Google Earth	36
GIS	Geoinformationssystem	1
GPS	Global Positioning System	20
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System	33
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften	2
ID	Identifikationsnummer	66
KML	Keyhole Markup Language	34
LOD	Level of detail	10
MARS	Multi Agent Research and Simulation	2
MAS	Multi-Agenten-Simulation	48
NDVI	normalized difference vegetation index	2
NWW	NASA World Wind	36
OGC	Open Geospatial Consortium	26
QGIS	Quantum GIS	32
RGB	Red green blue	13
SGI	Spatial gemischter Indikator	1
USGS RMGSC	U.S. Geological Survey, Rocky Mountain Geographic Science Center viii	
WFS	Web Feature Service	26
WMS	Web Map Service	26

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 21. Juli 2014 Mariusz Baldowski