

# Bachelorarbeit

David Duong

Ein agentenbasiertes Simulationsmodell für die  
Ausbreitung von Wiedehopfen in Norddeutschland

David Duong

# Ein agentenbasiertes Simulationsmodell für die Ausbreitung von Wiedehopfen in Norddeutschland

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung  
im Studiengang *Bachelor of Science Informatik Technischer Systeme*  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Thomas Clemen  
Zweitgutachter: Prof. Dr. Marina Tropmann-Frick

Eingereicht am: 04.07.2023

**David Duong**

**Thema der Arbeit**

Ein agentenbasiertes Simulationsmodell für die Ausbreitung von Wiedehopfen in Norddeutschland

**Stichworte**

Wiedehopf, Multiagentensystem, Speziesverteilungsmodell, MARS

**Kurzzusammenfassung**

Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines Multiagentensystems, welches die Verteilung der Wiedehopfe in Norddeutschland vorhersagen soll. Die Wiedehopfe werden als Agenten in System versuchen auf potenzielle Brutgebiete und Lebensräume zu zeigen. Das System arbeitet eng mit einem Geografisches Informationssystem zusammen, welche zur Datenbeschaffung und der Visualisierung der Daten zuständig ist. Zur Validierung werden Daten des Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) genutzt.

---

**David Duong**

**Title of Thesis**

Agent-based simulationmodel for the distribution of hoopoes in north germany

**Keywords**

hoopoe, multiagentsystem, species distribution model, MARS

**Abstract**

This present work covers the development of multi-agent system, with the purpose of predicting the distribution of hoopoes in north germany. The hoopoes are agents and are using georeferenced data to accurately predict potential habitats. The system works closely with an geographical informationsystem (GIS). The GIS is used to provide and visualize geographical data (including the results). To validate given results, the results are compared to data from the german association of avifaunists (german: Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA))

---

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich an den Dachverband Deutscher Avifaunisten, für das Bereitstellen der Daten, über Sichtungen von Wiedehopfen, bedanken. Die Daten haben es ermöglicht eine ausgiebige Untersuchung auszuführen und das System zu validieren.

Hamburg, den 04.07.2023

David Duong

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen</b>	<b>xii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	1
<b>2 Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Der (eurasische) Wiedehopf . . . . .	3
2.1.1 Aussehen . . . . .	3
2.1.2 Revier- und Feindverhalten . . . . .	4
2.1.3 Lebensräume . . . . .	5
2.1.4 Brutbiologie und Nahrungssuche . . . . .	6
2.1.5 Gefährdung . . . . .	6
2.1.6 Ausgleichmaßnahmen . . . . .	7
2.2 Vogel Verteilungsmodelle (bird distribution model) . . . . .	7
2.3 Multiagentensystem . . . . .	8
2.3.1 Agenten . . . . .	9
2.3.2 Umgebung . . . . .	10
2.3.3 Modell . . . . .	11
2.4 MARS-Framework . . . . .	11
2.4.1 Layer . . . . .	12
2.4.2 Environment . . . . .	12
2.4.3 Tick-Simulation . . . . .	13
2.4.4 Agent . . . . .	14
2.5 Geografische Informationssystem (GIS) . . . . .	14
2.5.1 GIS-Dateiformate . . . . .	15
2.6 OpenStreetMap (OSM) . . . . .	15
2.7 Koordinatenbezugssystem (KBS) . . . . .	16

2.8	Forschungsgebiete . . . . .	16
2.8.1	Schleswig-Holstein . . . . .	17
2.8.2	Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	17
2.9	Dachverband Deutscher Avifaunisten (und Validierungsdaten) . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Anforderungsanalyse</b>	<b>19</b>
3.1	Funktionale Anforderungen . . . . .	19
3.2	Nichtfunktionale Anforderungen . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Konzept und Entwurf</b>	<b>21</b>
4.1	Agenten . . . . .	21
4.2	Umwelt . . . . .	22
4.3	Bewegung . . . . .	23
4.4	Zeit . . . . .	23
4.5	Verwendung eines Geografisches Informationssystem . . . . .	23
4.6	Durchlauf . . . . .	24
4.6.1	Erfassen von potenziellen Brutgebieten . . . . .	25
4.7	Evaluation des Systems . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Realisierung</b>	<b>27</b>
5.1	QGIS als Geoinformationssystemsoftware . . . . .	27
5.2	Quick-OSM . . . . .	28
5.3	Geodaten . . . . .	29
5.3.1	Vegetation . . . . .	29
5.3.2	OpenStreet . . . . .	30
5.3.3	Digital Elevation Model (Digitales Höhenmodell) . . . . .	33
5.3.4	Wetterdaten . . . . .	34
5.4	Agentensystem . . . . .	34
5.4.1	Layer . . . . .	36
5.4.2	Wiedehopf als Agent . . . . .	37
5.4.3	Initialisierung . . . . .	37
5.4.4	Simulation . . . . .	42
5.4.5	Logging . . . . .	43
5.4.6	Visualisierung . . . . .	43

<b>6 Ergebnisse</b>	<b>45</b>
6.1 Schleswig-Holstein . . . . .	46
6.1.1 Potenzielle Flächen für Brutgebiete . . . . .	46
6.1.2 Clustering von potenzielle Brutgebieten . . . . .	47
6.1.3 Wiedehopf-Sichtungen des DDA . . . . .	52
6.2 Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	54
6.2.1 Potenzielle Flächen für Brutgebiete . . . . .	54
6.2.2 Clustering von potenziellen Brutgebieten . . . . .	55
6.2.3 Wiedehopf-Sichtungen des DDA . . . . .	60
6.3 Ergebnisse der Simulation und Vergleich . . . . .	61
6.4 Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern im Vergleich . . . . .	65
<b>7 Diskussion und Ausblick</b>	<b>67</b>
7.1 Diskussion . . . . .	67
7.2 Zusammenfassung . . . . .	69
7.3 Ausblick . . . . .	70
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>72</b>
<b>A Anhang</b>	<b>75</b>
<b>Glossar</b>	<b>77</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b>	<b>78</b>



# Abbildungsverzeichnis

2.1	Erwachsenes Exemplar eines eurasischen Wiedehopfs [20] . . . . .	4
2.2	Lebensräume eines eurasischen Wiedehopfs [1] . . . . .	5
2.3	Verhältnis zwischen Agent und Umgebung . . . . .	10
4.1	Abhängigkeit des Multiagentensystem (MAS) von Geografisches Informa- tionssystem (GIS) . . . . .	24
4.2	Darstellung der Eingabe- und Ausgabedaten des Systems . . . . .	25
4.3	Konzeption der Erfassung von potenziellen Brutgebieten . . . . .	26
5.1	Beispiel einer Wiese nach Definition der Quick-OSM [14] . . . . .	30
5.2	Beispiel einer Baumfläche nach Definition der Quick-OSM [14] . . . . .	30
5.3	Beispiel einer Bundesstraße nach Quick-OSM [14] . . . . .	31
5.4	Beispiel einer Landstraße nach Quick-OSM [14] . . . . .	31
5.5	Beispiel einer Gemeindeverbindungsstraße nach OSM [14] . . . . .	32
5.6	Beispiel einer Autobahn nach OSM [14] . . . . .	33
5.7	Beispiel eines Digital Elevation Model . . . . .	33
5.8	Klassendiagramm des Systems . . . . .	35
5.9	Darstellung der Umgebung bestehend aus mehreren Layern . . . . .	37
5.10	Ablauf zur Ermittlung von potenziellen Brutgebieten . . . . .	39
5.11	Cluster: Erfolgreich Revier gefunden . . . . .	40
5.12	Cluster: Kein Revier gefunden . . . . .	40
6.1	Potenzielle Brutgebiete in Schleswig-Holstein . . . . .	46
6.2	Potenzielle Brutgebiete in der Mitte von Schleswig-Holstein . . . . .	48
6.3	Potenzielle Brutgebiete im Süden Schleswig-Holsteins . . . . .	49
6.4	Potenzielle Brutgebiete im Norden Schleswig-Holsteins . . . . .	50
6.5	Potenzielle Brutgebiete auf der Föhr . . . . .	51
6.6	Wiedehopf-Sichtungen in Schleswig-Holstein . . . . .	52
6.7	Heatmap von Wiedehopf Sichtungen in Schleswig-Holstein . . . . .	53

6.8	Potenzielle Brutgebiete in Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	54
6.9	Potenzielle Brutgebiete mittig von Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	55
6.10	Potenzielle Brutgebiete in südwestlich von Mecklenburg-Vorpommern . . .	56
6.11	Potenzielle Brutgebiete in Rügen (Mecklenburg-Vorpommern) . . . . .	57
6.12	Potenzielle Brutgebiete in Usedom (Mecklenburg-Vorpommern) . . . . .	58
6.13	Potenzielle Brutgebiete nördlich von Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	59
6.14	Wiedehopf Sichtungen in Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	60
6.15	Heatmap der Wiedehopf Sichtungen in Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	61
6.16	Vergleich der potenziellen Brutgebiete mit den Wiedehopf-Sichtungen in Schleswig-Holstein . . . . .	63
6.17	Vergleich der potenziellen Brutgebiete mit den Wiedehopf-Sichtungen in Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	64
A.1	Potenzielle Brutgebiete in Schleswig Holstein . . . . .	76
A.2	Potenzielle Brutgebiete in Mecklenburg-Vorpommern . . . . .	77

# Tabellenverzeichnis

3.1	Funktionale Anforderungen . . . . .	19
3.2	Funktionale Anforderungen . . . . .	20
6.1	Vergleich der Flächengrößen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg- Vorpommern . . . . .	65

# Abkürzungen

**DDA** Dachverband Deutscher Avifaunisten.

**DEM** Digital Elevation Model.

**GIS** Geografisches Informationssystem.

**MAS** Multiagentensystem.

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Der Wiedehopf, dessen Anzahl seit vielen Jahren in Europa gesunken ist, scheint wieder zu wachsen [10][8]. Diese Entwicklung erhofft vielen Vogelliebhabern und Ornithologen, dass die Anzahl auch in den nächsten Jahren weiter ansteigen wird. Obwohl viele Paare ihren Weg nach Europa finden, verweilt der Großteil nicht in Deutschland. Das Problem ist, dass in Deutschland zu wenige Lebensräume für Wiedehopfe bestehen. Durch beispielsweise der Intensivierung der Landwirtschaft und dem Schwinden geeigneter Bruthöhlen, scheinen die Lebensräume nur noch weiter zu sinken [10]. Daher ist sinnvoll vorhandene Lebensräume zu bewahren und potenzielle Lebensräume zu schaffen, um die Population des Wiedehopfes aufrecht zu erhalten. Das Auffinden von Lebensräumen kann jedoch sehr aufwendig sein. Informationen über Gebiete müssen einzeln von einer oder mehreren Personen genau untersucht werden, um Lebensräume aufzufinden. Dies wird erschwert, wenn es sich dabei, um größere Gebiete (beispielsweise Norddeutschland) handelt. Ein Simulationsmodell erleichtert nicht nur das Finden von Lebensräumen, sondern kann potenzielle neue Lebensräume finden, indem verschiedene Parameter eingesetzt und nach jedem Durchlauf verändert werden können. Ein Simulationsmodell ist in der Lage mehrere Datenquellen in einem gemeinsamen Kontext zu verbinden und auszuwerten. Zusätzlich ist es möglich neue Lebensräume zu finden, indem potenzielle Szenarien simuliert werden.

## 1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist es ein agentenbasiertes System zu entwickeln, welches potenzielle Brutgebiete von Wiedehopfen zeigt. Dafür soll das System die Eigenschaften der Wiedehopfe widerspiegeln und eine realitätsnahe virtuelle Umgebung erstellen können.

Es soll außerdem eine Vorlage, für weitere Forschung, bieten können. Entwickler sollen die Möglichkeit haben, das Verhalten der Vögel zu ändern und auch Datensätze einfach auszutauschen. Um die Integrität der Ergebnisse aufzeigen, werden die Daten, mit Daten von professionellen Ornithologen und Avifaunisten verglichen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Der (eurasische) Wiedehopf

Der Wiedehopf ist ein Vogel, welcher in vielen Bereichen in Asien, Afrika und Europa wiederzufinden ist. Aufgrund seines charakteristischen Rufes „hoop-poo/uup-uup“ (mit leichten Variationen je nach Unterart) wird er im Englischen auch als „hoopoe“ bezeichnet. In diesem Projekt liegt der Fokus hauptsächlich auf der Unterart des eurasischen Wiedehopfs. Diese Art verbringt den Großteil des Jahres in Asien und Nordafrika und wandert während der Paarungszeit nach Europa. Während des 20. Jahrhunderts war der Wiedehopf in Europa weit verbreitet. Jedoch nahm die Anzahl der Wiedehopfe aufgrund der fortschreitenden Industrialisierung und der Ausdehnung von Städten kontinuierlich ab. In Deutschland wurde er lange Zeit als gefährdet eingestuft. Orte, die einst beliebte Brutplätze für Wiedehopfpaare waren, sind seit mehr als hundert Jahren nahezu verlassen. In den letzten Jahren ist jedoch die Anzahl der Paare wieder angestiegen. Laut ebird.de (Stand: Oktober 2022) gibt es mittlerweile in Europa über 700.000 Paare des Wiedehopfs [4]. Dennoch wird er in Deutschland nach wie vor als gefährdete Art betrachtet. Man schätzt die Anzahl der Paare in Deutschland auf etwa 800 bis 950 [10].

#### 2.1.1 Aussehen

Der Wiedehopf ist ein etwa 30 cm großer Vogel, der bis zu etwa 89 Gramm wiegen kann. Seine Flügel haben ein zebragestreiftes Muster, während der restliche Teil des Körpers eine orangene Farbe besitzt. Weitere signifikante Merkmale sind sein langer, gebogener Schnabel und die markante aufstellbare Haube mit schwarzen Spitzen auf dem Kopf. Die Haube stellt der Wiedehopf beim Landen, wenn er seinen Ruf von sich gibt oder aufgeregt ist, auf. Hingegen lassen sich zwischen den Geschlechtern des Wiedehopfes kaum wesentliche Unterschiede nennen.

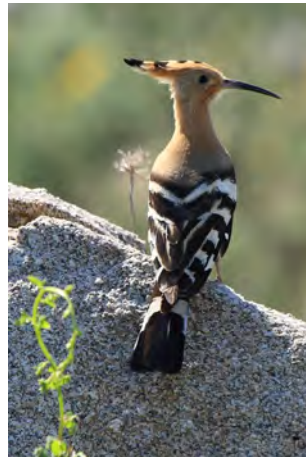


Abbildung 2.1: Erwachsenes Exemplar eines eurasischen Wiedehopfs [20]

### 2.1.2 Revier- und Feindverhalten

Wenn sich kleinere bis gleich große Vögel sich in das Revier des Wiedehopfs begeben, kann es zur Konfrontation kommen, sofern der Vogel es als Gefahr ansieht. Um eine Konfrontation zu vermeiden, gibt das Männchen seinen Ruf von sich, um andere Vögel seine Präsenz mitzuteilen. Dies ist aber nicht immer effektiv, weshalb ein Kampf vor allem zwischen Männchen derselben Art nicht ungewöhnlich ist. Bei direkter Konfrontation kann der Wiedehopf seinen Schnabel zur Verteidigung nutzen.

Die Hauptwaffe der Wiedehopfe, besonders bei Angriffen auf das Nest, ist ihr sehr übel riechendes Sekret. Fühlen sich die Nestlinge in Gefahr, sind sie in der Lage ihren Kot abzufeuern [11][19]. Dies ist eine Form einer Abwehrreaktion. Die Mutter, sowie etwas ausgewachsene Nestlinge, können ein Sekret aus der Bürzeldrüse geschussartig abfeuern, welches sehr streng riecht. Durch diesen Geruch ist der Wiedehopf auch als „Stink-Vogel“ bekannt. Der Geruch des Sekrets ist meistens genug, um Feinde abzuschrecken. Wegen dieser Verteidigungstaktiken riechen, die Nester der Wiedehopfe größtenteils streng. Aber nicht immer riechen die Nester dadurch streng, da die Vögel auch alte Nester anderer Vögel übernehmen und dies nur Überbleibsel davon sind [24].



### 2.1.3 Lebensräume

Wiedehopfe sind in Europa, Afrika und Asien aufzufinden. Je nach Unterart verbleiben die Vögel länger in einem Gebiet als andere. Der eurasische Wiedehopf ist ein Zugvogel, der während der Winterzeit in Afrika verbleibt und in den verbliebenen Jahreszeiten in andere warme Regionen Europas und Asiens wandert [1]. Während der Brutzeit, die zwischen April - August liegt, ist dieser in Mitteleuropa aufzufinden. Abseits des Klimas bevorzugen Wiedehopfe Lebensräume mit (halb-)offenen Land, wo viel Nahrung aufzufinden ist [19]. Ebenso sind auch Weinberge, Obstgärten und Böschungen mit lockerer Vegetationsdecke gerne bevorzugt. In Deutschland ist die Art nur gering vorhanden und findet sich eher im südlichen oder nordöstlichen Teilen des Landes wieder. Die Art ist im Bereich des Mittelmeers verbreitet und durch den globalen Klimawandel hat sich der Vogel innerhalb Europa nach Norden bewegt [8][10].

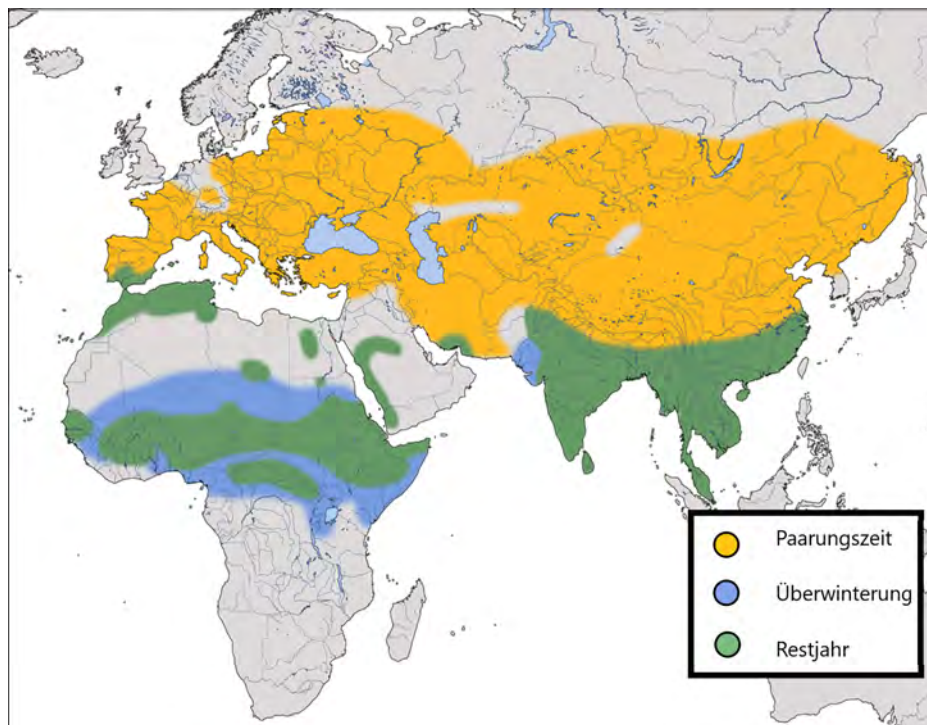


Abbildung 2.2: Lebensräume eines eurasischen Wiedehopfs [1]

### 2.1.4 Brutbiologie und Nahrungssuche

Der Wiedehopf ernährt sich hauptsächlich von größeren Insekten, Larven und (sehr) kleinen Wirbeltieren. Dazu gehören z.B. Käfer, Grillen, Heuschrecken, Spinnen und gelegentlich kleine Eidechsen [8]. Seine Nahrung findet er meist an Bäumen oder am Boden, weshalb der Vogel offenes Land mit viel Ausblick bevorzugt. Männchen nutzen auch ihre Nahrung, um Weibchen zu umwerben. Zu Anfang der Brutzeit sind die Männchen hauptsächlich für das Beschaffen von Nahrung zuständig, wobei das Weibchen im Nest verbleibt. Nach etwa zwei bis drei Wochen geht das Weibchen ebenfalls auf Nahrungssuche [19]. Als Nester werden vorwiegend Baumhöhlen, Felsspalten oder Gebäudenischen sowie Nistkästen ausgewählt [11]. Im Vergleich zu anderen Vogelarten sind die Nester eher bescheidener, da sie weniger Nistmaterial verwenden und manchmal auch nur eine Mulde formen. In der Brutzeit legt ein Weibchen für gewöhnlich fünf bis acht Eier [10]. Nach dem Schlüpfen der Küken brauchen sie etwa einen Monat, bis sie ausgewachsen sind und das Nest verlassen können. Um Reviere zu verteidigen, geben Männchen ihren Ruf von sich, der Weibchen anlocken kann, aber auch um andere Männchen fernzuhalten. Ist die Paarungs-/Brutzeit vorbei, gehen die Vögel getrennte Wege und verbleiben für die längste Zeit alleine, bis die Paarungszeit wieder anfängt. Außerdem wachsen nach Brutzeit bei den Eltern neuer Federn heran, während die alten dementsprechend abfallen.

### 2.1.5 Gefährdung

Der Wiedehopf ist zurzeit in Deutschland noch als eine gefährdete Art gelistet [10][8]. Für den Wiedehopf gibt es zurzeit, vor allem in Norden, nicht viele Lebensräume, die ihn ansprechen. Viele Lebensräume wurden beschädigt oder sogar zerstört, sodass diese nicht mehr lebensfähig für die Vögel sind. Die feuchtkühle Witterung in Deutschland spricht ebenfalls für die Abwesenheit des Vogels. Durch den Klimawandel sind die Temperaturen aber über die Jahre gestiegen, wodurch das Gebiet attraktiver geworden ist [9]. Tatsächlich zieht es mittlerweile mehr Vögel, wegen der Temperaturen, nach Deutschland als in letzten paar Jahren. Dennoch ist die Zahl der Vögel sehr niedrig im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten. Dies liegt vor allem an dem Zustand der Landwirtschaft. Viele Wiesen und Weiden, in denen der Vogel üblicherweise nach Nahrung sucht, sind mittlerweile als Ackerland genutzt. Zudem ist durch den hohen Pestizideinsatz, die Suche nach Nahrung schwieriger. Auch Bruthöhlen gehen mit der Zeit verloren, wenn z.B. ein Baum nicht

genug Obst für einen Ertrag bringt oder Mauern, die zu alt sind, werden sie mit neuen Mauern (ohne Zwischenräume und Löchern) ersetzt [10].

### 2.1.6 Ausgleichmaßnahmen

Zum Schutz der Wiedehopfe wird vieles unternommen, darunter meist der Schutz vorhandener Gebiete [10]. Um Deutschland wieder attraktiver für den Wiedehopf zu machen, könnte vieles gemacht werden. Der Naturschutzbund Deutschland e.V. (Nabu) ruft dabei zur Hilfe auf, um den Wiedehopf anzulocken. Es gibt verschiedene Arten, wie man die Orte wieder attraktiver machen könnte. Hier werden ein paar Möglichkeiten genannt, die der NABU empfiehlt.

- Verbliebene Streuostbestände, sowie Feldgehölze mit Bruthöhle langfristig zu erhalten.
- Lokale Vorkommen durch Nisthilfe unterstützen
- Erhaltung von Bäumen mit Bruthöhlen
- Bau von Nistkästen
- Reduzierung von Düngemitteln und Pestiziden (an Brutgebieten des Wiedehopfes) deutlich einschränken
- Vermeidung von Störung während Brutzeit

## 2.2 Vogel Verteilungsmodelle (bird distribution model)

Weltweit beschäftigen sich zahlreiche Menschen mit der Erforschung der Verbreitung von Vögeln. Es existiert eine Vielzahl von Modellen und Systemen, die nicht nur die Verbreitung, sondern auch das Verhalten der Vögel darstellen. Die meisten dieser Modelle basieren auf dem Testen und Untersuchen der Verhaltensweisen und Merkmale der Vogelarten. Ihr Hauptziel besteht darin, ein besseres Verständnis für die Arten zu erlangen und langfristige Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Diese Arbeit verfolgt ebenfalls diesen Ansatz und stellt ein Simulationsmodell vor, das als prototypisches Verteilungsmodell

betrachtet werden kann. Um das Verständnis und das Potenzial von Verteilungsmodellen zu veranschaulichen, werden in dieser Arbeit einige dieser Modelle kurz präsentiert.

In der Arbeit von Kulakowska et al. [22] wird die Verteilung einer Vogelart anhand ihrer Jagdstrategie bzw. Strategie in der Nahrungssuche, versucht vorherzusagen. In der Arbeit wird zwischen drei Strategien unterschieden. Dazu gehören Strategien wie die Zufallswahl, die optimale Wahl und die Wahl des Ortes nach Gedächtnis. Heißt, wenn ein Vogel z.B. im vorher schon dort war, könnte er sich wieder für diesen Ort entscheiden, ohne viele andere Orte zu besuchen. Am Ende soll es zeigen ob es sich lohnt vorhandene Orte beizubehalten.

In der wissenschaftlichen Arbeit von Laurel M. Hopkins [21] wurde versucht, die Verteilung zwischen rohen und klassifizierten Satellitendaten zu beurteilen. Die Studie konzentriert sich auf nicht-klassifizierte, von Satelliten (Fokus auf Landoberfläche) abgeleitete Umweltprädiktorvariablen mit einer räumlichen Auflösung von 30 m und bewertet ihre Leistung im Vergleich zu denen, die aus klassifizierten Landoberflächen-Datensätzen entwickelt wurden. Es soll auf die Wahl der Datenquellen hingewiesen werden, die für bestimmte Verteilungsmodelle genutzt wird.

Robin C. Whytock et al. präsentieren in ihrer Arbeit [25] die Folgen von zurückgelassenen Orten und den dazugehörigen Rückgang der Artenvielfalt. Es wird versucht zu zeigen, warum sich diese Arten zurückgezogen haben und was dagegen gemacht werden kann.

In diesem Modell vom Wiedehopf wird versucht, potenzielle Brutgebiete, vorherzusagen. Es ist eine Kombination zwischen den Konzepten der zuvor genannten Verteilungsmodellen. Ähnlich wie bei dem Modell von Laurel M. Hopkins, wird auf klassifizierte Daten der Umgebungen gesetzt. Dabei wird besonders auf die Nahrungssuche der Wiedehopfe geachtet, indem die Flächen mit dem größten Potenzial für Nahrung als Indikator genutzt werden (siehe Kapitel 5.3). Und wie in der Einleitung schon beschrieben, wird auch versucht einen Blick in die Erhaltung der Orte zu werfen.

### 2.3 Multiagentensystem

Multiagentensysteme bauen auf der agentenbasierten Modellierung auf, welches sich als Teilgebiet aus der Künstlichen Intelligenz herausgebildet hat. Bei einem Multiagentensystem handelt es sich, um ein System mit autonomen Einheiten mit spezialisierten Auf-

gaben, die miteinander ein kollektives oder individuelle ein eigenes Ziel verfolgen. Diese Einheiten werden (Software-)Agenten genannt und werden genutzt, um ein Problem zu lösen. In einem Multiagentensystem gibt generell keine zentrale Systemkontrolle. Stattdessen liegt die Kontrolle in den vielen und gegebenenfalls verschiedenen Agententypen. Die Komplexität eines solchen Systems liegt in im Umfang der Autonomie der Agenten. Je komplexer die Agenten mit den gegebenen Informationen umgehen und wie komplex diese mit anderen Agenten, so auch komplexer das System an sich.

### 2.3.1 Agenten

Ein Agent ist eine Einheit, die in der Lage ist, bei guter Entwicklung, vorgestellte Probleme zu lösen und Ziele zu erreichen. Um es sich besser vorstellen, kann man den Agenten als Spielfigur auf einem Spielbrett (begrenzte Umgebung) betrachten. Jedoch kann eine Figur sich nicht von alleine Steuern, dazu braucht es einen Spieler beziehungsweise Person, die den Zug ausführt. Deshalb gibt man ihr Merkmale, die die Person widerspiegeln würde, man vereint sozusagen den Spieler mit der Figur. Ein Agent ist dabei immer Abbild eines Objektes der realen Welt. Man merke an, dass der Agent nicht immer eine einzelne Person darstellen muss, größere Gruppen oder Konstrukte wie ein Schiff mit voller Besatzung sind auch möglich. Außerdem können Agenten einer Gruppe zugewiesen werden, welches üblicherweise durch einen Eintrag in den Eigenschaften geschieht. Ein simpler Agent ist in der Lage autonom, also ohne menschlichen Einfluss, seine vordefinierten Handlungen auszuführen. Um dies zu erreichen, sollten alle Agenten einen internen Zustand haben, der die aktuellen Informationen über sie und auch Teile der Umgebung enthält. Um Information aus der Umwelt wahrzunehmen, müssen Agenten mit ihrer Umgebung interagieren können. Des Weiteren können Agenten die Umgebung, in der sie leben, beeinflussen. Agenten können ihre Umgebung (beschränkt) beeinflussen und vice versa kann der Agent Umgebung beeinflusst. Diese Interaktion ist essenziell für Multiagentensystem oder gar Agentensystem. Denn ein Agent handelt nach dem Input, welcher er aus Umgebung bekommt. Auch der Zustand ist abhängig von Einflüssen dieser. Die Informationen werden interpretiert, um Schlussfolgerungen zu ziehen und weitere Aktionen festzulegen. Zusammengesetzt bilden das eigenständige Denken und der gegenseitige Einfluss der Umgebung (Interaktion und Reaktion), die Haupteigenschaften eines simplen Agenten.

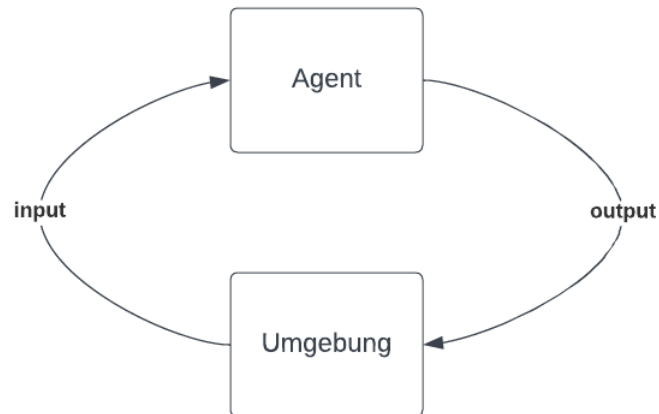


Abbildung 2.3: Verhältnis zwischen Agent und Umgebung

### 2.3.2 Umgebung

Die Umgebung stellt das Feld dar, auf den die Agenten leben. Auf diesem Feld können die Agenten verschieden Aktionen (abhängig vom System) ausführen. In der Umgebung werden nicht nur Agenten, sondern auch andere Entitäten (externe Ressource) und Objekte eingebettet, mit denen die Agenten agieren könnten. Eine Umgebung kann je nach System stark variieren, auch wenn das gleiche Konzept verfolgt wird. Im Folgenden werden übergeordnete Eigenschaften präsentiert, nach denen man eine Umgebung konzipieren und einordnen könnte [26].

- Zugänglichkeit
- Determinismus
- Statisch versus Dynamisch
- Diskret versus Kontinuierlich

Die Zugänglichkeit gibt an, wie ein Agent Information erhalten kann und diese auch akkurat sowie aktuell hält. Viele Systeme mit einer Umgebung, welche die reale Welt abbilden, würden nicht als zugänglich gelten, da die Informationen schnell altern. Eine deterministische Umgebung sagt aus, dass eine Aktion, sei es die eines Agenten oder eine Veränderung der Umgebung an sich, einen garantierten Effekt hat. Eine statische

Umgebung, ist eine Umgebung, in der alles unverändert bleibt, sofern keine Interaktion mit einem Agenten dies tut. Bei einer dynamischen Umgebung handeln noch andere Prozesse und ermöglichen die Veränderung der Umgebung. Beispielsweise könnte man sich eine Komponente vorstellen, die das Wetter darstellt. In einer diskreten Umgebung sind alle Aktionen und Wahrnehmungen begrenzt. Diese lassen sich auch während einer Simulation nicht verändern. Bei kontinuierlichen Umgebungen stehen zu Anfang eine bestimmte Anzahl von Aktionen und Wahrnehmungen da, diese können aber während einer Simulation erhöht werden.

### 2.3.3 Modell

Das Modell ist eine Repräsentation von Aspekten aus der Realität. Sie dient als Basis eines Multiagentensystems und Agenten sowie die Umgebung, bauen auf diesem auf. Es beschreibt, welche Rollen die Agenten spielen und aus welchen Elementen die Umgebung bestehen soll. Insgesamt stellt es ein Szenario mit einem möglichen Problem dar und es wird dazu genutzt, um Daten zu aus diesem Szenario zu gewinnen. Die resultierenden Output-Daten können analysiert und ausgewertet werden, um in der realen Welt Entscheidungen zu treffen. Demnach sollte das Modell konkret genug sein, dass es die Realität annähernd widerspiegelt.

## 2.4 MARS-Framework

Das MARS (Multi-Agent Research & Simulation)-Framework (auch LIFE genannt) ist ein in C# entwickeltes Gerüst zur Erstellung von agentenbasierten Modellen [7]. Es wird fortlaufend von der MARS Group, ein akademisches Forschungsprojekt an der HAW Hamburg, entwickelt. Es soll ein modernes System bieten, auf dem Entwickler aufbauen können. Dazu bietet das Framework eine umfangreiche Liste an Werkzeugen an, mit denen das Erstellen eines MAS gelingen kann. Das Hauptmerkmal liegt in der Möglichkeit ein Modell auszuführen und zu simulieren.

Im Folgenden werden die Komponenten und Konzepte des MARS-Frameworks kurz vorgestellt und erläutert, wie Eigenschaften des Konzepts eines klassischen Multiagentensystems umgesetzt werden.

### 2.4.1 Layer

Die Layer in MARS repräsentieren die Umgebung, in der die Agenten leben, und dienen als Informationsschicht. Jeder Layer beschreibt bestimmte Teile des Modells und stellt diese Informationen den Agenten zur Verfügung. Sie können begrenzte Daten über den Raum bereitstellen, die es den Agenten ermöglichen, andere Agenten und Entitäten zu erkennen. Es ist möglich, mehrere Layer zu erstellen, von denen jeder eine spezifische Aufgabe hat. Diese Layer werden automatisch generiert, sobald sie als Teil des Modells registriert sind. MARS unterscheidet verschiedene Arten von Layern, von denen jede ihre eigenen Eigenschaften besitzt.

- **Basic Layer:** Ein Basis-Layer, welcher über die „InitLayer“ Methode verfügt. Die InitLayer Methode erlaubt es Environments zu initialisieren, Agenten zu erzeugen und individualisierte Logiken auszuführen.
- **Dependent Layer:** Layer, welcher Referenzen zu anderen Layern benötigt, um mit Objekten und Agenten zu interagieren oder auf Daten-Layern zu zugreifen.
- **Active Layer** Ein Layer, der aktiv vor, während und nach der Simulation Änderungen vornehmen kann.
- **Data Layer:** Daten-Layer sind Layer, die externe Daten in das System integrieren können. Um räumliche Daten zu repräsentieren, bietet MARS zwei verschiedene Layer an. Der **Vektor-Layer** wird genutzt, um Vektorobjekte abzubilden, die als Punkte, Linie oder Bereiche dargestellt werden können. Der **Raster-Layer** wird dagegen genutzt, um Rasterdaten zu lesen und kann als 2D Matrix angesehen werden.

### 2.4.2 Environment

Das Environment ist eine räumliche Datenstruktur der Umgebung, die genutzt wird, um Agenten Zugriff auf Netzwerke und Ressourcen zu geben. Ein Layer kann einen oder mehrere Environments besitzen, die von Agenten benutzt werden. Ein Environment bietet Agenten zahlreiche Funktionen an, um mit der räumlichen Umgebung (Environment) zu interagieren. Wie bei den Layern gibt es auch verschiedene Untertypen. Generell teilen sie untereinander dieselben Grundfunktionen eines Environments. Zu den Grundfunk-



tionen gehören das Einsetzen und Entfernen von Agenten oder Entities. Die Bewegung ist dabei, je nach Art des Environments, limitiert. Insgesamt gibt es vier Untertypen für das Environment: SpatialHash-, GeoHash-, SpatialGraph- und CollisionEnvironment, die alle ihre spezifischen Eigenschaften und Nutzen haben.

- **SpatialHashEnvironment:** Das SpatialHashEnvironment ist Environment, welches aus vielen gleich großen Zellen aufgebaut ist. Agenten sind in der Lage sich vertikal, horizontal und diagonal auf diesem Feld zu bewegen. Das Feld ist zwei dimensional aufgebaut und enthält eine x- sowie y-Achse, wie in einem kartesischen Koordinatensystem. Vorstellen kann man sich das Feld wie ein klassisches Schachbrett.
- **GeoHashEnvironment:** Das Environment nutzt georeferenzierte Punkte, um Objekte darzustellen. Die Punkte werden durch die Längen- und Breitengrade beschrieben .
- **SpatialGraphEnvironment:** Die Umgebung wird mit Knoten mit räumlichen Daten beschrieben, welche mit Kanten verbunden sind. Sie wird genutzt, um die Bewegung der Agenten zur Entdeckung von Agenten und Objekten zu limitieren, da diese sich nur mittels der Kanten sich bewegen können.
- **CollisionEnvironment:** Diese Umgebung nutzt Konzepte von Charakteren und Hindernissen. Die Charaktere sind die Agenten und die Hindernisse Objekte, welche die Bewegung der Agenten einschränken sollen. Die Hindernisse können verschiedene Kollisionsarten vorweisen, die diverse Interaktionen zwischen Hindernis und Agenten erlauben.

### 2.4.3 Tick-Simulation

Als Simulation bezeichnet man die Ausführung eines Modells, zu einem bestimmten Szenario. Das Szenario besteht aus den Einstellungen, die vor der Ausführung vorgenommen werden können. Zu den Einstellungen gehören die Zeitspanne (Start und Stopp), Input-Daten und die Anzahl an Ticks.

Die Input-Daten werden genutzt, um die Komponenten, Agenten, Layer und Entitäten zu initialisieren und wären der Ausführung ggf. zu aktualisieren. Anders als andere kontinuierliche Systeme benutzt das MARS Framework eines Tick-basiertes System. Ein Tick repräsentiert eine Zeitspanne in der Ausführung, in der die Agenten ihre Aktionen aus-

führen können und aktive Layer aktualisiert werden. Innerhalb eines Szenarios haben alle Ticks dieselbe Zeitspanne.

### 2.4.4 Agent

Der Agent ist die Hauptkomponente eines Modells und sind die Akteure innerhalb der Simulation. Jeder Agententyp besitzt seine eigenen Ziele und Auswahl an Aktionen, die er verwenden kann. Wie schon vorher beschrieben, arbeitet der Agent mittels einer Tick-Methode, um seine Aktionen auszuführen. Der Agent kann Input-Daten, die vor dem Start der Simulation eingelesen werden und Daten, die er während der Simulation (in der Umgebung) wahrnimmt, zum Erreichen des Ziels nutzen. Um Daten zu erhalten, wird dem Agenten bei seiner Initialisierung eine Referenz zu einem Layer gegeben. Auf dem Layer wird dieser Agent leben und seine Informationen beziehen. Am Ende der Simulation ist es möglich, die Ergebnisse zu speichern, wobei die Dateiformate limitiert sind [7].

## 2.5 Geografische Informationssystem (GIS)

Ein geografisches Informationssystem (GIS) ist ein System, dass Geodaten erfasst, verwaltet und analysiert. Beispielsweise ist es möglich, Daten zu visualisieren, um ein besseres Verständnis zu gewinnen. Weiterhin kann ein GIS genutzt werden, um Veränderung zu beobachten und Vorhersagen zu treffen. In Falle des Projekts sollte es möglich sein, Muster und Beziehung zwischen Daten und dem Vogel zu verdeutlichen. Verschiedene Arten von Daten werden kombiniert und neue Erkenntnisse können damit erlangt werden. Mit einem GIS können dazu Karten erstellt beziehungsweise vorhandene Karten genutzt werden. Je nach System bieten viele Informationssysteme auch eigene Daten (beispielsweise in Form von Karten) an. Mittlerweile gibt es auf dem Markt eine Vielzahl an diversen Systemen. Jeder diese Systeme sollte die genannten Funktionen beinhalten. Viele Produkte bieten auch noch zusätzliche Funktionen an, die einem Aufgaben erleichtern. Die Funktionen sind meist schon eingebaut oder kommen in Form von Plug-ins.

### 2.5.1 GIS-Dateiformate

Zur Darstellung von verschiedenen Daten in einem GIS werden für gewöhnlich zwei Formate genutzt. Es wird unterschieden zwischen Vektor- und Raster-Formate, die in einem GIS wie eine Schicht (Layer) visuell repräsentiert werden können. Diese zwei Formate können in temporärer oder permanenter Form, wenn sie abgespeichert werden, auftreten. Die Daten in einer Raster-Schicht werden in eine rasterartigen Struktur dargestellt. In einer Vektor-Schicht können die Daten in verschiedensten Formen auftreten, seien es Punkte, Linien oder verschiedenste Polygone. Um sie für andere System zu nutzen, können die Daten in verschiedenen Dateiformaten abgespeichert werden. Welche zum Schluss zu Angebot stehen, hängt vom jeweiligen GIS ab. MARS akzeptiert je nach Schicht (Layer) verschiedene Dateiformate. Vektorlayer nutzen Formate wie Geojson, GraphML und Geopackage. Hingegen Rasterlayer CSV und ASCII-Formate nutzt. Da in diesem Rahmen Rasterlayer verwendet wird, werden diese kurz erläutert.

- CSV (Comma-separated values) ist eine Textdatei, die in Tabellenkalkulationsprogrammen im Tabellenformat gespeichert werden kann. Es wird genutzt für den Austausch strukturierter und kommagetrennter Werte. Ein allgemeiner Standard existiert für das Dateiformat CSV nicht, grundlegend wird dies aber im RFC 4180 beschrieben [2].
- Das Esri ASCII-Raster-Format ermöglicht die Übertragung von Informationen zwischen zellenbasierten Systemen oder Raster-Systemen. Eine Datei im Esri ASCII-Format beginnt stets mit dem Header, der die Eigenschaften des Rasters definiert. Diese Header-Informationen definieren die Eigenschaften des Rasters, wie die Zellengröße, die Anzahl der Zeilen und Spalten sowie die Koordinaten des Ursprungs des Rasters. Nach dem Header folgen die Zellenwerte, welche in aufsteigender Reihenfolge zeilenweise angegeben sind und durch Leerzeichen getrennt werden. Jede Zeile wird durch Absatzzeichen voneinander abgegrenzt.

## 2.6 OpenStreetMap (OSM)

Die OpenStreetMap (OSM) ist ein internationales Projekt, das sich zum Ziel gesetzt hat, eine umfassende und frei zugängliche Weltkarte zu erstellen. Diese Karte enthält eine Vielzahl von Daten wie Straßen, Eisenbahnen, Flüsse, Wälder, Häuser und andere

Informationen, die auf herkömmlichen Karten zu finden sind. Das Projekt wurde im Jahr 2004 ins Leben gerufen und seitdem werden die Daten von den Mitgliedern der OSM-Gemeinschaft selbst erfasst. Jeder Nutzer hat kostenfreien Zugriff auf die Daten und kann sie nach Belieben weiterverarbeiten. Die Mitglieder der OSM-Gemeinschaft, zu denen sowohl Experten als auch Privatpersonen gehören, stellen die Daten bereit und halten sie kontinuierlich auf dem neuesten Stand [13]. Die Karte wird von zahlreichen Open-Source-Software-Entwicklern und Programmierern genutzt, um Standorte in ihre Anwendungen zu integrieren oder spezialisierte Karten zu erstellen.

### 2.7 Koordinatenbezugssystem (KBS)

Ein Koordinatenbezugssystem ist ein Referenzsystem, das mithilfe von Koordinaten (und einem Referenzdatum) einen präzisen Punkt auf der Erdoberfläche bestimmen kann. Es kombiniert dabei die Koordinaten mit einer zweidimensionalen, projizierten Karte. Ein Koordinatenbezugssystem beschreibt die räumliche Lage eines Punktes auf der Erde oder einen geografischen Raum. Es kann somit eindeutig Orte lokalisieren und identifizieren. Das System bildet die Grundlage für viele Anwendungen, wie zum Beispiel Kartenerstellung, GPS-Navigation, geografische Informationssysteme (GIS) und geodätische Vermessungen. Die genaue Definition und Beschreibung findet sich in der Norm ISO 19111 [5]. Für die Arbeit ist es wichtig zu verstehen, dass verschiedene Arten von Koordinatenreferenzsystemen gibt. In dieser Arbeit werden European Petroleum Survey Group (EPSG)-Codes für das KBS verwendet. Dies muss erwähnt werden, um sicherzustellen, dass bei der Angabe von Koordinaten von denselben Positionen gesprochen wird. Üblicherweise werden Punkte auf der Erde mit Längen- und Breitengraden beschrieben. Bei projektiven Systemen, wie dem hier, werden Positionen in einem GIS hingegen mit X- und Y-Koordinaten beschrieben.

### 2.8 Forschungsgebiete

Für das System werden sich die Forschungsgebiete Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern angeschaut. Beide Bundesländer liegen im Norden und bieten diverse Typen von Landflächen an, welches bei der Untersuchung zu vielen verschiedenen Ergebnisse führen kann.

### 2.8.1 Schleswig-Holstein

Schleswig-Holstein bietet eine lange Küstenlinie, die sowohl an der Nordsee als auch an der Ostsee liegt. Nah der Küste besitzt Schleswig-Holstein mehrere Inseln wie Sylt, Föhr oder Helgoland. Das Bundesland bietet viel Flach- und Hügellandschaft, die aus Wiesen oder Ackerland bestehen. Zwischen den Landschaften liegen viele Seen und Flüsse, die die Tierwelt bereichern könnten. Zusätzlich beinhaltet Schleswig-Holstein viele Naturschutzgebiete und Nationalparks, die zum Schutz von Tieren und Pflanzen, da sind.

### 2.8.2 Mecklenburg-Vorpommern

Ähnlich wie Schleswig-Holstein, bietet Mecklenburg-Vorpommern viel Flach- und Hügellandschaft an. Es beinhaltet eine Vielzahl an Flüssen sowie Seen, von denen auch ein paar in den Nationalparks und Naturschutzgebieten liegen. Zum Schluss grenzt Mecklenburg-Vorpommern ebenfalls an der Ostsee an und bietet lang Strände und Steilküsten.

## 2.9 Dachverband Deutscher Avifaunisten (und Validierungsdaten)

Zur Validierung steht eine Sammlung von Wiedehopf-Sichtungen von 2022 zur Verfügung, unter denen auch die Forschungsgebiete aufgelistet sind. Die Daten wurden von vielen Beobachtern gesammelt und vom Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) bereitgestellt.

Der DDA ist der Dachverband der 16 ornithologischen Fachverbände der Bundesländer Deutschlands sowie zahlreicher weiterer regionaler, lokaler Vereine oder Organisationen [3]. Der DDA befasst sich mit der Erforschung der Vogelwelt in Deutschland und hat sich als Ziel gesetzt, Wissenschaft, Forschung und Bildung in der Avifaunistik zu fördern. Dabei soll als Resultat der Natur- und Umweltschutz gestärkt werden. Der DDA arbeitet eng mit anderen Naturschutzverbänden und Behörden zusammen, um die Erhaltung und den Schutz der Vogelwelt in Deutschland zu fördern. Viele deutsche Portale, der Ornithologie, lassen sich auf den DDA zurückführen. Eines davon ist [ornitho.de](http://ornitho.de), einem Portal für Vogelsichtungen, von denen die Beobachtungen stammen [15]. Das Portal spezialisiert sich vor allem auf Gelegenheitsbeobachtungen, also all jenen Beobachtungen, die

außerhalb der systematischen Erfassungsprogramme bei Exkursionen in interessante Gebiete als auch auf Spaziergängen, auf dem Weg zur Arbeit, vom Balkon oder im Garten gelingen. Mittlerweile gibt es verschiedene Variationen des Portals, die Daten über verschiedene Länder in Europa entsprechende Daten sammeln. Benutzer des Portals können ihre Sichtungen teilen und somit die Datenbank erweitern. Zu den Ländern gehören zurzeit Frankreich, Italien, Österreich, Polen, Kroatien, Katalonien, dem Baskenland sowie die deutschsprachigen Länder.

Zusätzlich erhält die deutsche Abteilung Unterstützung von verschiedenen Fachverbänden und Arbeitsgemeinschaften. Diese Gemeinschaften unterstützen ornitho ehrenamtlich, in vielen Weisen. Darüber hinaus erhält der DDA auch finanzielle Zuwendung und Betreuung von ihnen.

## 3 Anforderungsanalyse

Hier werden die funktionalen (3.1) und nichtfunktionale (3.2) Anforderungen an das System vorgestellt. Die Anforderungen geben, welche Funktionen das System erfüllen kann und muss. Daher werden sie genutzt, um das Konzept zu erstellen.

### 3.1 Funktionale Anforderungen

Tabelle 3.1: Funktionale Anforderungen

ID	Typ	Anforderung
REQ1	Operation	Flächen für potenzielle Brutgebiete der Wiedehopfe werden vom System erkannt und markiert
REQ2	Operation	Potenzielle Brutgebiete (Reviere) werden vom System ermittelt und markiert
REQ3	Protokollierung	Flächen für potenzielle Brutgebiete der Wiedehopfe können gespeichert werden
REQ4	Protokollierung	Potenzielle Brutgebiete (Reviere) können gespeichert werden
REQ5	Protokollierung	Am Ende der Simulationen werden die Ergebnisse der Agenten gespeichert
REQ6	Konfiguration	Parameter für die Agenten und die Umgebung können vor dem Systemstart übergeben werden

## 3.2 Nichtfunktionale Anforderungen

Tabelle 3.2: Funktionale Anforderungen

<b>ID</b>	<b>Typ</b>	<b>Anforderung</b>
REQ7	Performanz	Ermittlung von Flächen von potenziellen Brutgebieten und Brutgebieten müssen performant sein
REQ8	Performanz	Die Anzahl an Agenten kann eingestellt werden
REQ9	Modularität	Das System soll für Entwickler einfach zu erweitern sein.
REQ10	Wartbarkeit	Datensätze sollten einfach im System austauschbar sein
REQ11	Skalierbarkeit	Das System sollte in der Lage sein mehrere Agenten simulieren zu können



## 4 Konzept und Entwurf

Diese Kapitel behandelt das Konzept und den Entwurf des Systems. Es wird beschrieben, welche Eigenschaften das System haben sollte und warum bestimmte Entscheidungen beim Design getroffen werden. Das System soll in der Lage sein, die Ausbreitung von Wiedehopfen in Norddeutschland zeigen, indem es potenzielle Brutgebiete dieser Vögel erfasst. Es soll so weit entwickelt werden, dass schon potenzielle Brutgebiete aufgedeckt werden können, aber die Simulation beziehungsweise die Agenten, die während der Simulation agieren, noch von jeweiligen Nutzern selbst ausgebaut werden können. Das System soll also als Schablone, für weitere Forschungszwecke, dienen können. Als Basis des Systems wird das MARS-Framework genutzt, welches das Erstellen eines agentenbasierten Modells vereinfacht (siehe 2.4).

### 4.1 Agenten

Die Agenten sollen die Wiedehopfe im System darstellen. Dementsprechend erhalten sie Eigenschaften, Präferenzen und Verhalten des Vogels, um die Simulation so realitätsnah wie möglich zu gestalten. Die Präferenzen und Eigenschaften sollten daher klar definiert sein. Alle Agenten sollten sich dieselben Eigenschaften, Fähigkeiten und Verhaltensweisen teilen. Zusätzlich brauchen die Agenten einen internen Zustand, welcher ihr Wohlbefinden zeigen soll. Das Ziel der Agenten sollte es sein bis zum Simulationsende innerhalb der Umgebung zu überleben, damit die Regionen nach ihren Lebensbedingungen bewertet werden kann. Sterben können die Agenten beispielsweise durch das Verhungern. Das MARS-Framework bietet eine Methode an, welcher pro Simulationsschritt aufgerufen wird. Innerhalb dieser Methode kann der Agent mit seiner Umgebung interagieren. Jeder Wiedehopf-Agent oder Agentenpaar soll ihr eigenes Revier besitzen. Die Reviere sind individuell und werden nicht zwischen Wiedehopf-Paaren geteilt. Das Einsetzen eines Reviers bildet das Verhalten des Vogels ab und gleichzeitig hilft es viele Gebiete inner-

halb eines Systemdurchlaufs abzudecken. In Abschnitt 4.6 wird erklärt, wie die Reviere zustande kommen.

### 4.2 Umwelt

Das Environment des Agenten repräsentiert die reale Umwelt des Vogels und basiert auf den Geodaten der Forschungsgebiete. Auf dieser Umgebung können sich die Agenten bewegen und mit anderen Agenten sowie Objekten interagieren. Die Geodaten werden in verschiedenen Layern des Systems gespeichert. Anfangs setzen sich die Geodaten aus drei übergeordneten Themen zusammen.

- Höhenmodell
- Vegetation/Land-Nutzung
- Verkehr (OSM)

Die Themen Land-Nutzung und Verkehr sind sehr vielfältig, weshalb sie eingegrenzt werden müssen. Es sollten daher nur Datensätze, die für die Wiedehopfe relevant sind, genutzt werden. Um die Bearbeitung und Visualisierung zu vereinfachen, sollte das Environment als Rasterfeld aufgebaut werden. Ein Rasterfeld besteht aus gleichgroßen Quadranten (Gitterzellen), die die Umgebung ausmachen. Wie groß die Umgebung ist, wird abhängig von der Größe der Datensätze ausgewählt. Innerhalb dieses Rasterfelds sollen die Daten, soweit möglich, als repräsentative Objekte platziert werden. Für das Höhenmodell ist dies nicht möglich. In diesem Fall sollte der Wert der Höhe direkt abgefragt werden. Durch die Nutzung dieses Umgebungsmodells, kann der Agent effizient auf die Geodaten zugreifen, Informationen über seine Umgebung sammeln und entsprechend darauf reagieren. Die Verwendung von Objekten zur Darstellung der Daten ermöglicht eine präzise Abbildung der Umgebung und erleichtert die Interaktion des Agenten mit seiner virtuellen Welt. Denn MARS ermöglicht, das Zuweisen von Eigenschaften und Methoden an Objekten, die von Agenten abgefragt werden können. Beispielsweise könnte man abfragen, ob auf einem Grasfeld (als Objekt) Nahrung zu finden ist oder ob ein Baum eine Nisthöhle anbietet.

### 4.3 Bewegung

Da die Umgebung als Rasterfeld aufgebaut wird, soll der Agent sich in jede Richtung bewegen können. Man kann sich die Bewegung wie auf einem Schachbrett vorstellen, wo sich die Figuren entlang der Spalten und Zeilen bewegen können. Die Reichweite der Umgebung ist begrenzt und richtet sich nach dem Lebensraum des Wiedehopfs. Das heißt, dass der Vogel pro Zeitabschnitt, nur eine bestimmte Distanz zurücklegen kann. Es sollte kein Objekt oder Agent die Bewegung eines anderen Agenten stören, damit jede Fläche erforscht werden kann. Wenn der Agent sich mit der Position anderer Agenten oder Objekten überschneidet, wird davon ausgegangen, dass genug auf Platz auf der Fläche ist oder der Agent sich über diesen befindet.

### 4.4 Zeit

Die Simulation soll den Zeitraum, in der die Wiedehopfe brüten, widerspiegeln. Dies ergibt Sinn, da die (eurasischen) Wiedehopfe nur zum Brüten nach Europa kommen (siehe Unterabschnitt 2.1.3) und in dieser Arbeit Gebiete in Norddeutschland untersucht werden. Der simulierte Zeitraum sollte außerdem die gleiche Länge haben, wie die Zeit, die es braucht, bis die Jungen das Nest verlassen und die Brutzeit endet. Mit MARS lassen sich der Start- und Endzeitpunkt der Simulationen klar definieren.

Jeder Agent führt seine Operationen innerhalb einer Tick-Methode aus. Ticks repräsentieren einen bestimmten Zeitabschnitt und die Simulation endet, sobald eine Menge von Ticks ausgeführt wurde.

### 4.5 Verwendung eines Geografisches Informationssystem

Das GIS steht in enger Beziehung mit dem System, da hier mit Geodaten gearbeitet wird. Geografische Informationssysteme sind das primäre Tool zur Bearbeitung von Geodaten. Mithilfe dieser Systeme ist möglich benötigte Datensätze anzuschaffen, diese für das Simulationsmodell zu formatieren und schließlich auch noch zu visualisieren. Es ist wichtig, dass gewählte GIS brauchbare Datenformate bereitstellt. Denn MARS akzeptiert nur eine bestimmte Auswahl an Datenformaten, welche für Umgebungstypen genutzt werden

können. Eine Visualisierung der Daten ist wichtig, damit die Ergebnisse des Systems mit anderen Daten verglichen werden können, um Unterschiede zu erkennen. Dies ist besonders wichtig, da die Forschungsgebiete sehr groß sind und kleine Veränderungen eventuell übersehen werden. Es wurde auch daran gedacht, die Simulation an sich zu visualisieren. Jedoch wird die nicht berücksichtigt, da auch hier die Größe der Forschungsgebiete dies sehr unübersichtlich machen würden. Durch die genannten Punkte ist zu erkennen, dass das Multiagentensystem viel Nutzen aus einer GIS ziehen kann. Es gäbe eventuell andere Möglichkeiten, die genannten Funktionen bereitzustellen, jedoch vereinfacht die geographischen Informationssysteme diese sehr. In der Abbildung 4.1 soll nochmal verdeutlicht werden, dass das MAS die Funktionen eines GIS nutzt und dies auch empfohlen wird.

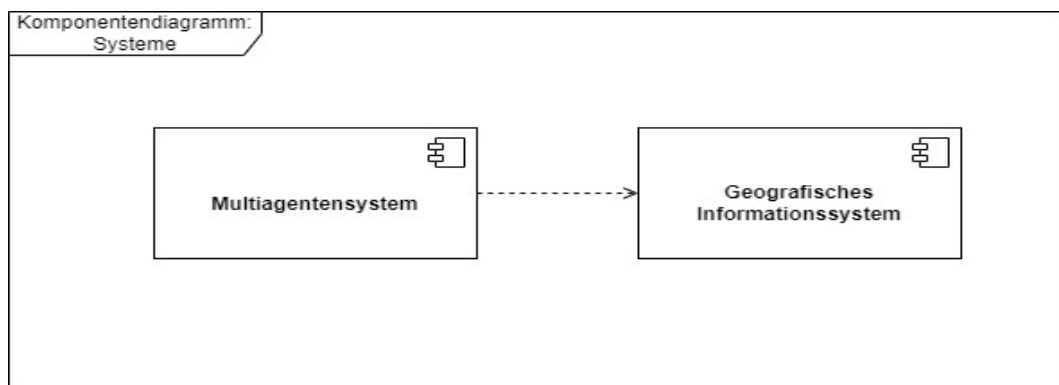


Abbildung 4.1: Abhängigkeit des MAS von GIS

### 4.6 Durchlauf

Das System erhält als Eingabe Daten über die Landnutzung/Vegetation, Straßen und dem Höhenmodell, um eine virtuelle Umgebung, die ein Abbild der Realität zu erstellen. Anhand dieser Umgebung soll vom System als Output eine Datei mit markierten Positionen, welche potenzielle Brutgebiete von Wiedehopfen darstellen, ausgegeben werden (siehe Abbildung 4.2). Insgesamt lässt sich der Ablauf in mehrere Schritte aufteilen, die jeweils Einsichten über das System und die benutzen Daten gibt. Als Erstes braucht es die Erstellung einer Umgebung, in dem die Datensätze in Layer eingesetzt werden. Die Layer werden ausgelesen und mittels der Daten, kann die Größe und die zu erstellenden Objekte/Entitäten ermittelt werden. Anhand dieser Daten kann auch schon begonnen werden, potenzielle Brutgebiete zu bestimmen. Um jedoch zu einem zufriedenstellenden Ergebnis

zu kommen, erfordert das Erfassen von potenziellen Brutgebieten mehrerer Teilschritte. Diese Teilschritte werden in der nächsten Sektion (4.6.1) genauer beschrieben.

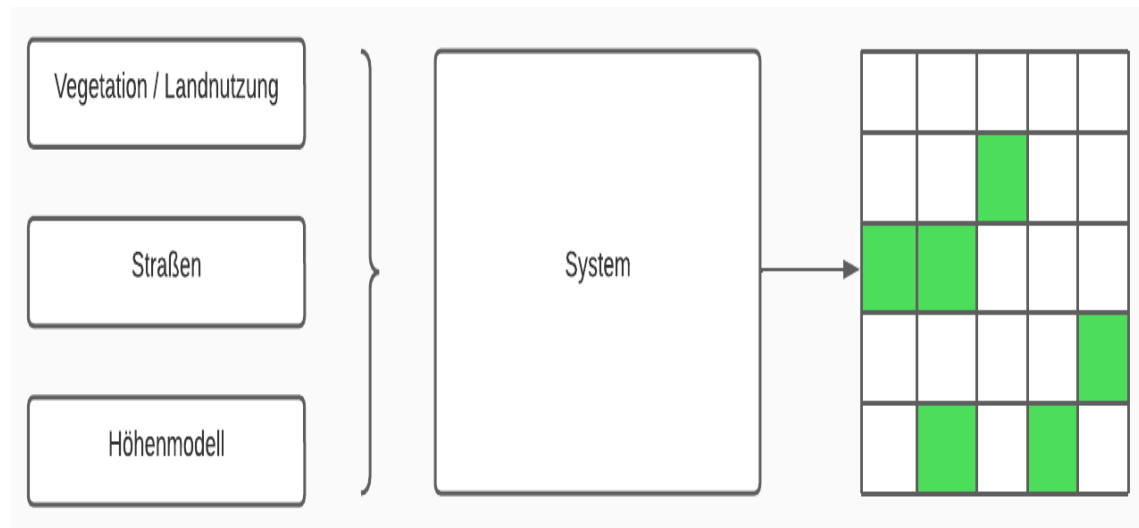


Abbildung 4.2: Darstellung der Eingabe- und Ausgabedaten des Systems

### 4.6.1 Erfassen von potenziellen Brutgebieten

Das Erfassen von potenziellen Brutgebieten erfolgt in drei Schritten. Zunächst gibt es zwei Prä-Simulationsschritte, gefolgt von der eigentlichen Simulation.

Im ersten Schritt werden alle Flächen identifiziert, die das Potenzial für Brutgebiete aufweisen, basierend auf den Präferenzen des Vogels. Dies bedeutet, dass Gebiete hervorgehoben werden, die den Bedürfnissen und Vorlieben des Wiedehopfs entsprechen.

Im zweiten Schritt werden die Reviere definiert, in der sich die Agenten, während der Simulation aufhalten. Hierbei wird untersucht, ob innerhalb einer Revierfläche (begrenzter Raum) ausreichend geeigneter Flächen (Schritt 1) vorhanden sind, um das Überleben eines Wiedehopfs zu gewährleisten. Dieser Schritt ermöglicht es, bereits vor Beginn der eigentlichen Simulation eine Vielzahl potenzieller Brutgebiete zu identifizieren. Die Reviere bilden die Basis des nächsten Schritts.

Die Simulation wird verwendet, um die Eigenschaften der Vögel unter verschiedenen Einflüssen und Variablen zu testen. Dadurch kann überprüft werden, ob die zuvor identifizierten Brutgebiete (Reviere) tatsächlich geeignet sind. Die Simulation bietet die Möglichkeit,

verschiedene Faktoren, wie das Wetter oder die Wahrscheinlichkeit der Nahrungssuche in die Berechnungen einzubeziehen.

Als abschließende Auswertung der Gebiete bewerten die Agenten die einzelnen Reviere. Sie berücksichtigen dabei die Einflüsse, die von dem Modellierer festgelegt wurden. Die Bewertung der Reviere liefert wichtige Informationen darüber, welche Gebiete besonders geeignet sind und welche möglicherweise weniger optimal für den Wiedehopf sind. Ein Brutgebiet gilt als lebbar, wenn die Agenten unter den Einflüssen und Bedingungen der Umgebung am Ende der Simulation noch am Leben sind. Anschaulich wird dies in Abbildung 4.3.

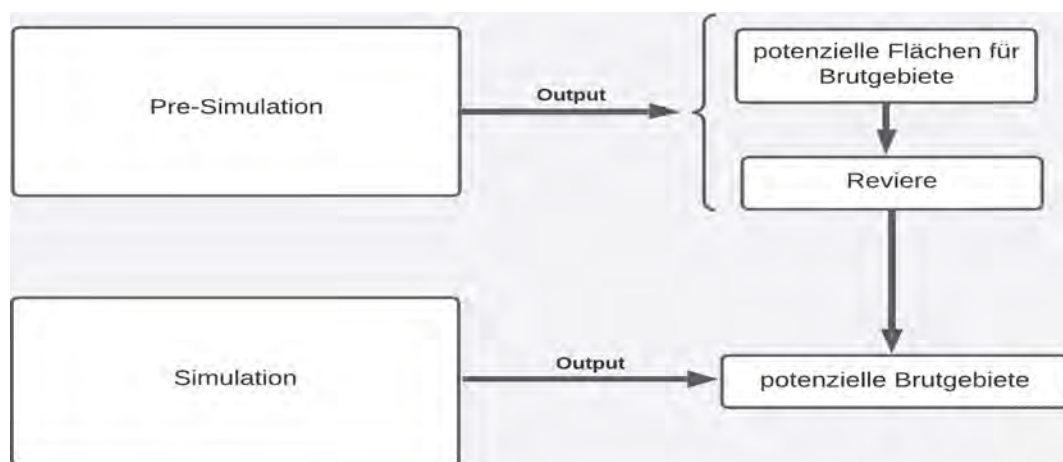


Abbildung 4.3: Konzeption der Erfassung von potenziellen Brutgebieten

## 4.7 Evaluation des Systems

Zur Evaluation des Systems stehen Daten aus Ornitho (siehe 2.9) zur Verfügung. Die Daten zeigen Sichtungen von Wiedehopfen in Norddeutschland, welche in den letzten Jahren getätigt worden sind. Die Daten sollen mit den Ergebnissen des Systems verglichen werden, um diese zu Validieren. Dazu sollten die Ergebnisse und die Sichtungen mithilfe eines geografischen Informationssystems visuell aufbereitet werden.

## 5 Realisierung

Dieses Kapitel widmet sich der Umsetzung des Konzepts. Es präsentiert das geografische Informationssystem (GIS) sowie die verwendeten Datensätze und erläutert die Verwendung des MARS-Frameworks. Dabei wird angestrebt, das Zusammenspiel der einzelnen Software-Komponenten zu verdeutlichen.

### 5.1 QGIS als Geoinformationssystemsoftware

Zur Bearbeitung von Geodaten wird das Programm QGIS[16] genutzt. QGIS ist ein Open-Source geografisches Informationssystem und Teil der Open-Source Geospatial Foundation. QGIS unterstützt viele Plattformen, darunter Linux, Unix, Mac OSX, Windows und Android. Das Projekt wird von Freiwilligen unterstützt und Beiträge werden vom zuständigen Team jederzeit willkommen geheißen. QGIS bietet viele Möglichkeiten an, Daten anzuzeigen, zu verwalten, zu bearbeiten, zu analysieren und sogar ganze fertige Karten für weiteren Nutzen, auszudrucken. Was QGIS außerdem, sehr gut für diesen Anwendungsfall macht, ist die Unterstützung vieler Raster-, Vektorformate und -funktionen, welche für die Nutzung von MARS essenziell ist. Mit den Funktionen lassen sich benötigte Daten direkt aus QGIS holen und auf einer Karte darstellen. Falls man selbst keine Geodaten besitzt, kann man über viele Plug-ins, die in QGIS bereitgestellt sind, benötigt Daten herunterladen. Da die Plug-ins jedoch größtenteils von Drittanbietern erstellt wird, sollten die Daten nochmal auf Legitimität überprüft werden. Darüber hinaus kann sich QGIS direkt mit Web Map Service (WMS) verbinden, wenn Organisationen ihre Datenquelle darüber anbieten. Da für dieses Programm, die Weltkarte bzw. ein Ausschnitt der Weltkarte genutzt wird, sollte man das Koordinatensystem beachten. Für die Übersichtlichkeit wird hier das Koordinatenbezugssystem EPSG:4326 - WGS 84 genutzt, welches die Karte in gleich große Felder teilt. Zusammengefasst wird QGIS als GIS für diese Arbeit genutzt, weil es frei nutzbar und leicht zu bedienen ist. Außer-

dem werden die Datenformate verwendet, die für die MARS Simulation benötigt werden, genutzt.

### 5.2 Quick-OSM

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt wurde, können Geodaten über verschiedene Plug-ins in QGIS bezogen werden. Eines dieser Plug-ins ist das Quick-OSM-Plug-in, entwickelt von Etienne Trimaille[18]. Das Plug-in basiert auf der Overpass API, die den Zugriff auf Daten von OpenStreetMap ermöglicht.

Die Daten in OpenStreetMap sind nach ihren Eigenschaften und Verwendungszwecken kategorisiert. Das Quick-OSM-Plug-in arbeitet daher mit einem Schlüsselssystem, um die benötigten Daten abzurufen. Diese Schlüssel sind Wörter oder Namen, die den spezifischen Datensatz beschreiben. Sie dienen als Schlüssel, um auf die entsprechenden Daten zuzugreifen.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Daten nur für bestimmte Ortsgrößen abgerufen werden können. Man nehme als Beispiel Daten über Strände in Schleswig-Holstein. In diesem Fall könnte man erwarten, dass das Abrufen der Daten fehlschlagen könnte, falls die Datensätze zu umfangreich sind. Das Plug-in gibt in diesem Fall einen Time-Out-Fehler aus, da es zu lange dauert, die Daten zu laden.

Die entsprechenden Schlüsselwörter für das Quick-OSM-Plug-in können auf der Wiki-Website[14] gefunden werden. Über dieses Plug-in wurden die für das Programm relevanten Geodaten bezogen, einschließlich Feldern, die Gras, Bäume und verschiedene Arten von Straßen enthalten. Insgesamt bietet das Plug-in fünf verschiedene Nutzungsmöglichkeiten:

- Schreiben von Anfragen für die Nutzer mithilfe einer Schlüssel(-wort)/Wert Kombination
- Anfragen über bestimmte Gebiete ausführen
- Anfragen bearbeiten
- Bestimmte OSM Dateien(.osm or .pbf) öffnen



- Starten eine Kartenvorlage bzw. das Erzeugen einer eigenen Karte

## 5.3 Geodaten

Im Folgenden werden die genutzten Geodatendaten vorgestellt. Generell werden für das Projekt drei übergeordnete Geodaten benötigt. Dazu zählt das Abbild der Straßen, die Vegetation/Landnutzung sowie das Höhenmodell. Durch den Detailgrad der Kategorien, bezüglich der Geodaten, lässt sich ein realitätsnahes Abbild erstellen. Somit kann man bestimmte Felder selektieren und einen sehr großen Teil des Katalogs (der Feldtypen) ignorieren, die für diesen Fall nicht brauchbar ist. Dies gilt auch für die Daten der Typen Straßen, wobei die Menge an Optionen im Gegensatz zur Vegetation, deutlich kleiner ist.

### 5.3.1 Vegetation

#### Wiese

Wie vorher schon erwähnt präferieren Wiedehopfe offene bis halboffene Flächen mit einer kurzer, schütterten Pflanzendecke. Größtenteils lässt sich dies auf die Nahrungssuche zurückführen. Deshalb eignet sich Wiesen/Weideland (Meadow) zur Repräsentation eines solchen Feldes (siehe Abbildung 5.1). Wichtig bei diesem Datensatz, dass diese außerorts liegen, d.h. an Orten mit eher weniger Menschen Interaktion. Außerdem verweist der Katalog, dass diese Orte geschützt sind und nicht für öffentliche Veranstaltungen genutzt werden dürfen. Daher sollte die Chance für Brutgebiete hierbei höher liegen, als auf anderen Grasfeldern.

#### Bäume (Baumflächen)

Lebensräume der Wiedehopfe benötigen Plätze, die als Nester dienen können. Unter potenziellen Nistplätzen zählen bestimmte Bäume. Leider zeigt die Meadow-Schicht keine expliziten Bäume an, auch wenn einzelne Bäume in den Gebieten sein könnten. Daher braucht es einen zusätzlichen Layer für das Repräsentieren von potenziellen Nistplätzen. Zum Schluss wurde die sog. Wood-Schicht hierfür ausgewählt. Die Schicht beinhaltet



Abbildung 5.1: Beispiel einer Wiese nach Definition der Quick-OSM [14]

Baumflächen ohne überwiegend forstwirtschaftlicher Nutzung. Der Grund hierfür hängt erneut damit zusammen, dass dieser Typ von (von Ort) ein geringes Menschenaufkommen vorzeigt. Es wird angenommen, dass sich die Vögel dadurch wohler fühlen und die Gefahr, dass die Bäume (auf unnatürlichen Wege) beschädigt werden, gering ist. Dennoch muss darauf geachtet werden, dass es sich bei den Baumflächen auch um die präferierten Varianten handelt. Als Beispiel gehören Wälder, vor allem mit sehr großer Dichte, nicht zu den Lebensräumen der Vögel (wie in Abbildung 5.2 von Quick-OSM zu sehen). Da keine Aussage über die Art der Bäume getroffen wird, muss die Überprüfung nach der Auswertung des Systems erfolgen.

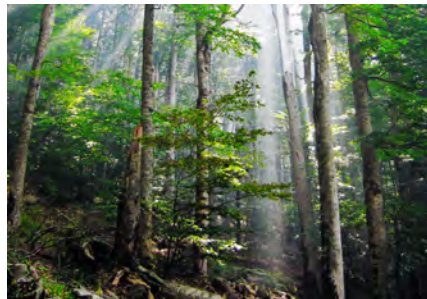


Abbildung 5.2: Beispiel einer Baumfläche nach Definition der Quick-OSM [14]

### 5.3.2 OpenStreet

Für das Modell werden Straßen in Betracht bezogen, die ein hohes Verkehrsaufkommen aufweisen, wie zum Beispiel Autobahnen. Denn an solchen Straßen ist der Lärm besonders groß, was sich negativ auf das Habitat der Vögel auswirken können. Straßen, wie die

in der Nähe von Wohngebieten werden nicht berücksichtigt, da ihre Auswirkung auf das Habitat nicht vorherzusehen ist, da ihr Verkehrsaufkommen unregelmäßig ist. Dies hängt auch davon ab, welche Personen dort leben. Deshalb wurden diese, auch wenn sie zahlreich vorhanden sind und viel Gebiet abdecken, nicht miteinbezogen. Ziel ist es, dass die Agenten diese meiden soll, da sie einen negativen Einfluss auswirken.

### **Bundes-/Landstraßen**

Hier werden zwei Datensätze gleichzeitig vorgestellt, da sie von ähnlicher Bedeutung sind. Es sind Datensätze über Straßen, die mit dem Schlüssel „Primary“ (Abbildung 5.3) sowie die der „Secondary“ (Abbildung 5.4) gekennzeichnet sind. Die Primary-Straßen bilden die Bundesstraßen, mit denen die Zentren in Bundesländer verbunden werden und von nationaler Bedeutung sind. Sie verbinden größere Städte und werden für den überregionalen Verkehr genutzt. Dazu gehören außerdem Straßen mit übergeordneter Verkehrsbedeutung, also Straßen mit viel Verkehr am Tag (bis 10.000 Kraftfahrzeuge am Tag). Die Secondary-Straßen sind von der Bedeutung her, eine weniger bedeutende Version der Primary Straßen. Sie sind von überregionaler Bedeutung und verbinden kleinere Stadtzentren miteinander. Zu den Straßen zählen Landes-, (Staats-, ) oder ausgebaute Kreisstraßen. Sie verbinden kleinere Städte oder größere Orte und dienen dem zwischen-regionalen Verkehr.



Abbildung 5.3: Beispiel einer Bundesstraße nach Quick-OSM [14]



Abbildung 5.4: Beispiel einer Landstraße nach Quick-OSM [14]

### **Tertiär**

Bei den sogenannten Tertiary Straßen werden von den Gemeindeverbindungsstraßen gesprochen, die unter anderem Dörfer untereinander verbinden. Es sind Gemeindestraßen, die sich außerhalb geschlossener Ortschaften befinden. Unter dieser Kategorie zählen auch, nach dem Katalog des Quick-OSMs, Kreisstraßen, obwohl diese normalerweise nicht zu den Gemeindestraßen gehören. Allgemein kann man hier auch von Innerstädtische Vorfahrtstraßen mit Durchfahrtscharakter sprechen. Visuell lassen sich diese Straßen (Abbildung 5.5) nicht stark mit den Landstraßen (Abbildung 5.4) unterscheiden.



Abbildung 5.5: Beispiel einer Gemeindeverbindungsstraße nach OSM [14]

### **Autobahn**

Für das Programm werden Autobahnen miteinbezogen, da diese zu jedem Zeitpunkt in dauerhafter Benutzung steht und dadurch für viel Lärm sorgen. Es handelt sich um Straßen mit baulich getrennten Fahrtrichtungen und üblicherweise (außer z.B. unter Bearbeitung stehende) zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung (wie in Abbildung 5.6 zu sehen). Außerdem gelten für große Teile der Straßen, im Gegensatz zu allen anderen Straßen in Städten, höhere Mindest- und Maximalgeschwindigkeiten. Die Geschwindigkeiten bei den Kraftfahrzeugen sorgen dementsprechend für größeren Lärm als auf anderen Straßen.



Abbildung 5.6: Beispiel einer Autobahn nach OSM [14]

### 5.3.3 Digital Elevation Model (Digitales Höhenmodell)

Das „Digital Elevation Model“ oder kurz „Digital Elevation Model (DEM)“ ist ein Modell, welches die Höhe des gegebenen Gebiets widerspiegelt. Da der Vogel offene bis halboffene Orte für die Jagt bevorzugt, ist es wichtig diesen Lebensraum abzubilden. Die Daten werden mithilfe eines Plug-ins [17], welches frei heruntergeladen werden kann und in QGIS integriert ist, geholt. Das Plug-in verbindet sich mit der Seite Earthdata. Earthdata bietet wissenschaftliche Daten von NASA über die Erde an, die frei nutzbar sind. Die Höhendaten stammen aus der sogenannten Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), in der Aufnahmen von einem Satelliten getätigt werden. Mithilfe des Plug-ins kann man zielgenau Daten von der Datenbank der Seite entnehmen. Für gewöhnlich werden diese, wie in Abbildung 5.7 zu sehen, in schwarz-weißer Farbe dargestellt.

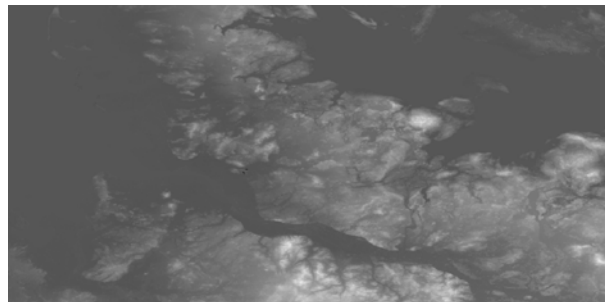


Abbildung 5.7: Beispiel eines Digital Elevation Model

### 5.3.4 Wetterdaten

Es ist zu erwähnen, dass das System auch Wetterdaten aus Meteostat [6] besitzt. Die Wetterdaten wurden für diesen Versuch nicht genutzt und sind auch für die Ergebnisse zunächst nicht essenziell. Für weitere Forschung mithilfe dieses Systems können diese Daten jedoch von großer Bedeutung sein. Die Daten würden den Einfluss verschiedener Wetterlagen auf den Wiedehopf zeigen. Wie genau diese Daten eingesetzt werden, wird in den Sektionen 5.4.1 und 5.4.4 erklärt.

## 5.4 Agentensystem

Für die Entwicklung des Multiagentensystems wurde das MARS-Framework eingesetzt. Das System besteht aus einem Agententypen, dem Wiedehopf-Agenten, verschiedenste Layer sowie einzelne Entitäten, welche die Objekte in den Layern widerspiegeln. Es läuft auf der .NET 6 Version und der MARS Version 4.4.0.

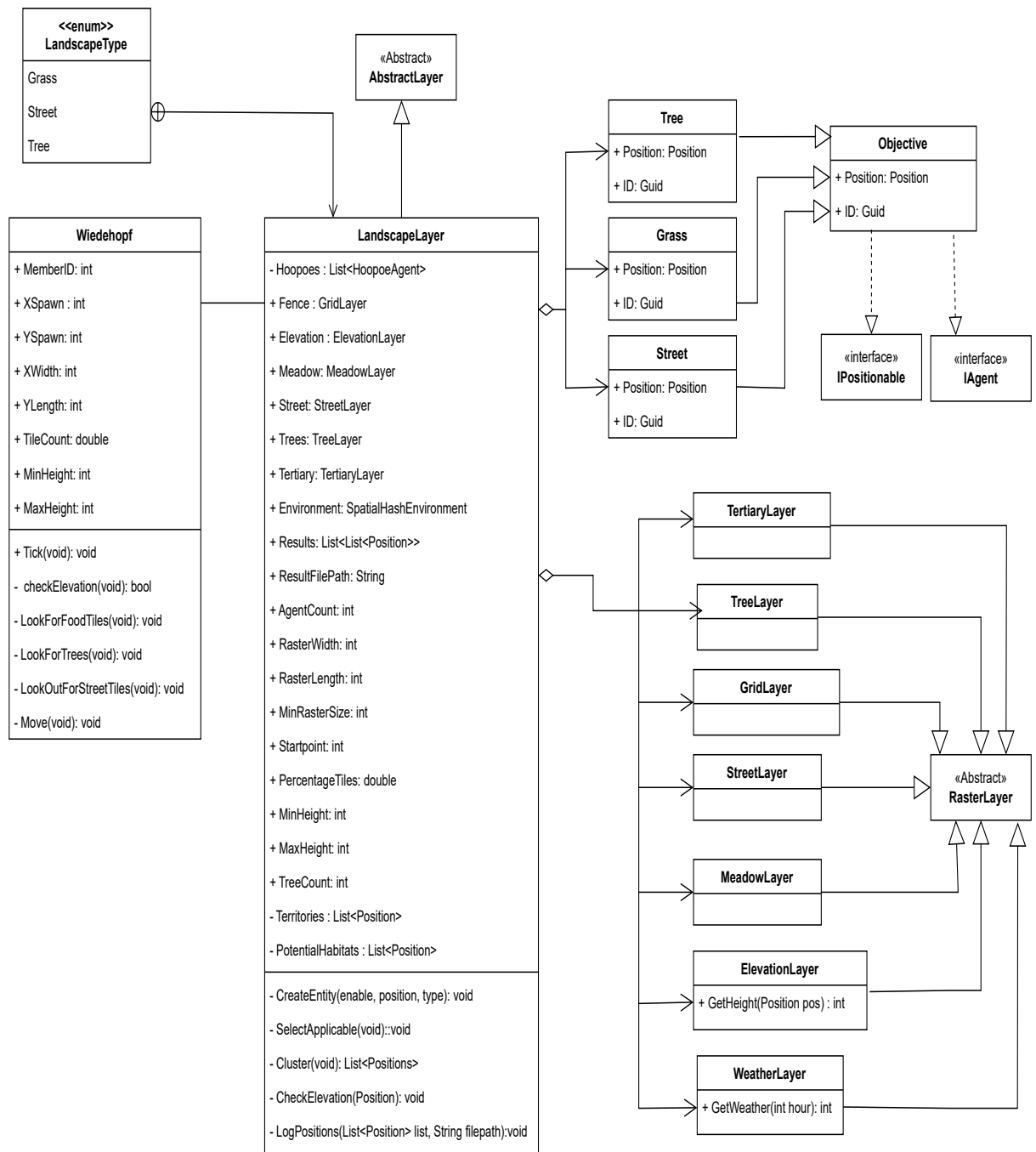


Abbildung 5.8: Klassendiagramm des Systems

### 5.4.1 Layer

Die Layer repräsentieren die verschiedenen geografischen Attribute, die zuvor in Abschnitt 5.3 genannt wurden. Zusammen aus der Vegetation, den Straßen und dem Höhenmodell, bilden sie die Umgebung des Wiedehopfs. Um den Prozess zu vereinfachen und redundante Layer zu vermeiden, wurden mehrere Datensätze zu einem zusammengeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die kombinierten Datensätze dieselben Eigenschaften haben und sich nicht gegenseitig beeinträchtigen, indem sie sich zum Beispiel überlappen. So wurden Straßen mit ähnlicher Bedeutung zusammengeführt, um die Anzahl der Layer zu reduzieren. Das heißt, die Layer vom Typ „Primary“ und „Secondary“ zusammengesetzt und bilden den sogenannten Mainstreet-Layer (siehe Abbildung 5.9).

Neben den Straßen gibt es auch Layer für das Höhenmodell und die Vegetation, die jeweils aus einem einzigen Datensatz bestehen. Weiterhin gibt es einen Outline-Layer, der die Grenzen der Bundesländer aufzeigt. Da die Bundesländer zu groß sind, wurden die Datensätze in mehrere Teile aufgeteilt, um die RAM- und CPU-Ressourcen effizienter zu nutzen.

Schließlich gibt es einen Landscape-Layer, der alle zuvor genannten Layer miteinander verbindet und dem Wiedehopf-Agenten als Umgebung und Werkzeug dient. Anders als die genannten Layer ist dieser kein Daten-Layer. Der Layer enthält Referenzen zu allen anderen Layern und initialisiert alle Agenten sowie Entitäten/Objekte, wenn benötigt. Im Gegensatz zu den anderen Layern, die das Raster-Layer Interface nutzen, verwendet dieser Layer den Abstract-Layer als Vorlage. Die Datensätze werden durch das Interface in ein Raster-Modell eingefügt. Der Landscape-Layer ist der Initialisierungslayer (Basic-Layer), welcher als Einziger eine Umgebung besitzt, auf der Agenten und Entitäten platziert werden können. Diese Umgebung ermöglicht die Interaktion der Agenten mit den verschiedenen Objekten.

Abseits der genannten Daten-Layer gibt es noch den sogenannten Weather-Layer, welcher Wetterdaten hält. Dieser Layer sollte flexibel eingesetzt werden, um zum Beispiel plötzliche Wetteränderungen abbilden zu können. Deshalb wird dieser nicht direkt bei der Erstellung der Umgebung mit einbezogen und während eines Simulationsdurchlaufs benutzt. Genauer zu diesem Layer im Abschnitt 5.4.4.



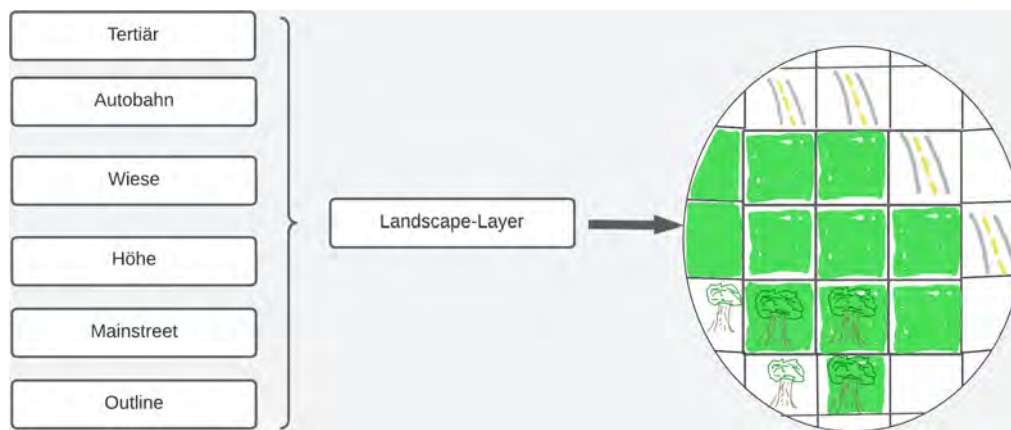


Abbildung 5.9: Darstellung der Umgebung bestehend aus mehreren Layern

### 5.4.2 Wiedehopf als Agent

Der Wiedehopf-Agent bekommt seine Eigenschaften mittels der Konfigurationsdatei mitgegeben. Dabei soll der Agent möglichst genau das Verhalten der Wiedehopfe widerspiegeln. Ziel der Simulation ist es zu bewerten, ob die berechneten Reviere potenzielle Brutgebiete darstellen können. Um dies zu bewerten, soll untersucht werden, ob der Wiedehopf Agent bis zum Ende der Simulation überlebt. Während der Simulation soll der Agent stetig mit der Umgebung interagieren. Abhängig der Einflüsse kann sich die Situation des Agenten verbessern oder verschlechtern. Ereignisse wie z.B. zu wenig Nahrung kann dazu führen, dass der Agent stirbt. Innerhalb eines Reviers empfiehlt es sich ein Brutpaar (zwei Wiedehopf-Agenten) einzusetzen, um die Realität nachzubilden. Falls man sich für ein Brutpaar entscheidet, sollte beachtet werden, dass sich das Weibchen und Männchen verschiedene Verhalten vorweisen. Daher muss nach der Implementierung, der Agent zwei Routinen bezüglich der Aktionen vorweisen. Wie genau die Routinen in der Simulation aussehen kann, wird in Unterabschnitt 5.4.4 beschrieben.

### 5.4.3 Initialisierung

Die Komponenten (Layer und Agenten) müssen explizit in der Program.cs Datei im Modell hinzugefügt werden. Geschieht dies nicht, werden die nicht eingetragenen Klassen nicht mit initialisiert, weil sie nicht als Teil des Modells angesehen werden. Bis auf den abstrakten Layer werden alle anderen im Hintergrund automatisch, ohne Initiali-

sierungsmethode, erstellt. Die Daten-Layer sind allesamt Raster-Layer und bekommen die bezüglichen Rasterdaten zugewiesen. Die Daten werden entsprechend in der Konfigurationsdatei eingetragen. Der Landscape-Layer wird als einziger anders behandelt, da dieser ein Abstract-Layer ist. Dieser hält keine eigenen Daten und dient den Agenten als Schnittstelle für die anderen Layer und der Umgebung. Um auf die Daten zuzugreifen, erhält der Landscape-Layer Referenzen zu den Datenlayern, die ebenfalls über die Konfigurationsdatei mitgegeben werden. Zusätzlich ist der Landscape-Layer dafür zuständig, die Agenten mit ihren Eigenschaften, sowie die Umgebung mit allesamt Objekten zu erstellen. Bevor die Agenten in der Umgebung eingesetzt werden, bekommen sie noch ein Revier zugewiesen. Der Vorgang zu Erstellung dieser Reviere verläuft in zwei Schritten, die in den folgenden Sektionen deutlich gemacht wird.

### **Ermittlung potenzieller Brutgebiete**

Um potenzielle Brutgebiete von Wiedehopfen zu ermitteln, werden alle Felder ermittelt, die solche Gebiete brauchen. Hierfür wird ein Entscheidungsbaum genutzt, der sehr simpel aufgebaut ist (Abbildung 5.10). Dabei werden alle positiven Flächen gezählt und die negativen weggelassen. Zu den positiven Flächen gehören Wiesen oder Bäume, da sie für den Erhalt der Wiedehopfe sorgen, während Straßen sich negativ auf den Vogel auswirken. Zusätzlich fließt die Höhe mit in die Entscheidung.

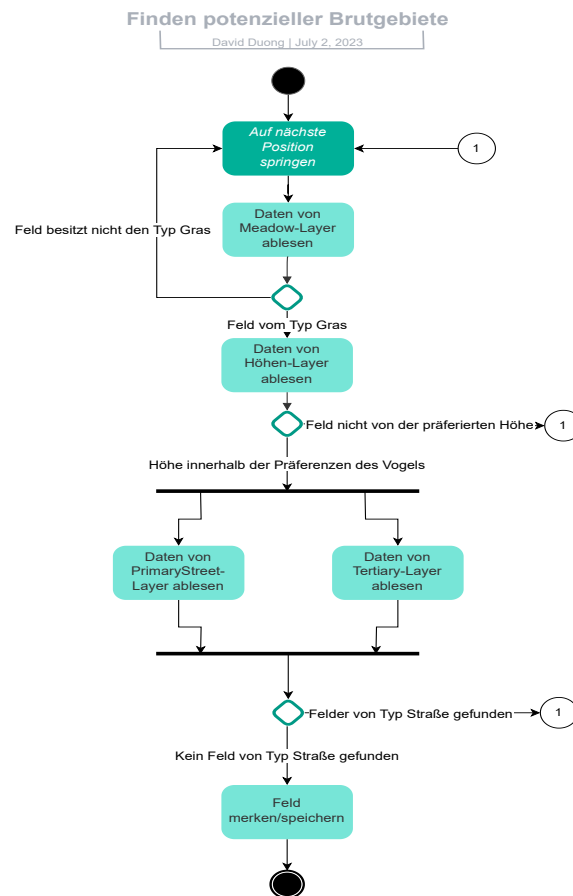


Abbildung 5.10: Ablauf zur Ermittlung von potenziellen Brutgebieten

Allerdings ist dieser Ansatz sehr grob und zeigt nicht unbedingt die Beziehung zwischen den Daten und den Feldern untereinander. Aus diesem Grund wird im nächsten Schritt das Clustering genutzt, um potenzielle Brutgebiete präziser zu identifizieren.

Durch das Clustering wird die Beziehung zwischen den Daten und den Feldern dargestellt. Hierbei werden Felder in Gruppen zusammengefasst, die in Kontext stehen. Beispielsweise sollen alle Felder innerhalb eines Parks zusammen betrachtet. Dadurch werden die potenziellen Brutgebiete des Wiedehopfen eindeutig aufgezeigt.

## Clustering der potenziellen Brutgebieten

Wiedehopfe leben während ihrer Brutzeit in Reviere. Diese Revierräume sind sehr eingeschränkt und müssen den Anforderungen der Wiedehopfe entsprechen. Das Clustering wird genutzt, um diese Revierräume zu ermitteln. Hierbei wird das Gebiet mithilfe einer Maske in Form einer Matrix durchlaufen (siehe Abbildung 5.11 und Abbildung 5.12). Die Maske stellt das Revier dar und ist auch entsprechend groß. Da die Reviergröße variiert und zwischen 1 ha und 10 ha liegen kann, wurde 6 ha als mittlere Größe für den Versuch ausgewählt[23]. Felder innerhalb der Maske werden, nach ihrem Typen gezählt und mit den anderen Typen verglichen. Die Felder entsprechend den im vorherigen Schritt berechneten Lebensräumen, den Straßen sowie Bäumen. Um ein Gebiet als lebbares Revier zur erklären, wurden drei Bedingungen eingesetzt. Als Erstes braucht ein Revier genügend Nahrung. Deswegen muss innerhalb eines Reviers mindestens  $600 \text{ m}^2$  Grasfläche, vorhanden sein. Die  $600 \text{ m}^2$  entsprechend 10% der Reviergröße und wurde nach einigen Tests ausgewählt. Ein Gebiet gilt außerdem als lebbar, wenn die Anzahl der Felder von potenziellen Brutgebieten die Anzahl an negativen Feldern in Form von beispielsweise Straßen übersteigt oder gleichzieht. Diese Bedingung soll dafür sorgen, dass nicht zu viele negative Einflüsse in den Revieren herrschen.

Zusätzlich sollte eine Mindestanzahl an Baumflächen gesetzt werden, da diese als potenzielle Flächen für Nester dienen. Die Quote für die Bäume und der Grasflächen (Wiese) können in der Konfiguration vorher eingestellt werden.

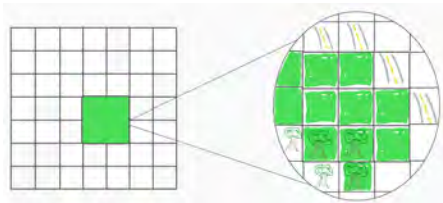


Abbildung 5.11: Cluster: Erfolgreich Revier gefunden

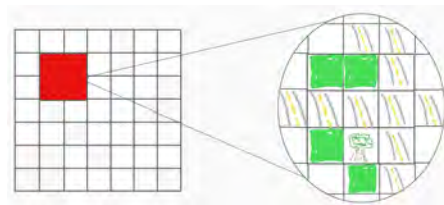


Abbildung 5.12: Cluster: Kein Revier gefunden

Wurde ein Gebiet für ein Revier bestimmt, wird die Ecke des Reviers mit kleinster Position gespeichert, welche den Wiedehopf-Agenten als Startpunkt dient. Denn es reicht aus, wenn die Größe eines Reviers (Länge und Breite), den Agenten mitgeteilt wird, anstatt sich alle Felder zu merken. Dies ist effizienter, da weniger Speicher und weniger Schritte ausgeführt werden müssen.

Die Flächen innerhalb der Reviere, die potenzielle Brutgebiete darstellen, werden vorübergehend im Layer vermerkt, damit keine Reviere sich überschneiden.

Wenn die Maske weit genug von den Positionen entfernt ist, damit sie nicht in Betrachtung für andere Revier gezogen werden können, werden sie für dieses Verfahren ignoriert, um den Prozess zu beschleunigen.

### **Agenten Initialisierung**

In der Regel werden Agenten von einem Agentenmanager in großer Zahl erstellt, allerdings muss dafür die Anzahl der Agenten vor dem Systemstart bekannt sein. In diesem Fall hängt die Anzahl der Agenten von der Anzahl der gefundenen Reviere ab, welche noch berechnet werden müssen. Der Agentenmanager eignet sich daher nicht für dieses System. Die Agenten müssen deshalb nacheinander erstellt werden. Sie erhalten dazu die Präferenzen der Wiedehopfe, um deren Verhalten während der Simulation nachzuahmen. Die Präferenzen werden über die Konfigurationsdatei gelesen.

Jeder Wiedehopf Agent oder Agenten-Paar wird einem bestimmten Gebiet zugewiesen und wird während der gesamten Simulation innerhalb dieses Gebiets verbleiben. Die Agenten sollten während der Simulation mit der Umgebung und mit den beinhalteten Objekten sowie Agenten interagieren können. Vorausgesetzt, sie sind innerhalb des Reviers.

### **Entitäten Initialisierung**

In der Simulation werden die Entitäten oder Objekte direkt von den Daten-Layern abgelesen und erstellt. Da alle Layer die gleiche Größe haben, wird über eine Schleife abgefragt, ob an einer bestimmten Position ein Objekt erstellt werden soll. Zu den Objekten gehören zurzeit Gräser, Bäume und Straßen. Weitere Objekte können hinzugefügt werden, wenn weitere Layer hinzukommen, wie zum Beispiel Wasserflächen. Jedes Objekt kann unterschiedliche Eigenschaften und Funktionen zugewiesen bekommen. So könnte ein Gras-Objekt beispielsweise Nahrung für die Wiedehopf-Agenten anbieten. Wenn ein Agent ein solches Objekt gefunden hat, könnte er fragen, ob sich auf dem Feld mit dem Gras Nahrung befindet, um sich zu ernähren.

#### 5.4.4 Simulation

In dieser Arbeit wird das Simulationsmodell als Grundgerüst erstellt und die Prä-Simulationsschritte ausgeführt. Dies reicht, um vorab potenzielle Brutgebiete zu erfassen und Spielraum für weitere Forschung zu bieten, indem die Simulation noch erweiterbar sowie anpassbar ist. Im Folgenden werden der allgemeine Aufbau, die Abfolge einer Simulation und die bereitgestellten Funktionen vorgestellt.

Die Agenten im Modell verwenden Ticks, um ihre Aktionen auszuführen. Ticks repräsentieren Zeitabschnitte, in denen eine Abfolge von Aktionen stattfinden kann. In diesem Fall könnte die Abfolge hauptsächlich aus Bewegung und Nahrungssuche bestehen. Das MARS-Framework bietet einfache Methoden an, die für verschiedene Szenarien angepasst und weiterentwickelt werden können. So kann für diese Arbeit die Reichweite der Bewegung und Beobachtungen limitiert werden. Wie im Klassendiagramm zu sehen Abbildung 5.8 kann der Agent schon nach verschiedenen Objekten der Umgebung schauen.

Das System enthält außerdem einen Weather-Layer, der Wetterdaten aus den Forschungsgebieten beinhaltet. Dieser Layer ist unabhängig von den anderen Layern und wird dynamisch während des Simulationsdurchlaufs verwendet. Die Daten sollen flexibel benutzt werden und sind daher auch in Stundenabschnitte unterteilt. Angenommen, die Simulationen sind zeitabhängig, so kann beispielsweise abgefragt werden, wie die Wetterlage beispielsweise um 8 Uhr ist. Das Wetter kann die Nahrungssuche erschweren oder erleichtern und direkte Auswirkungen auf das Verhalten der Vögel haben.

Für die Auswertung der Gebiete wird empfohlen, zu überprüfen, ob der Agent bzw. der Vogel bis zum Ende der Simulation überlebt. Hierfür gibt es bereits zwei potenzielle Ansätze, die ein solches Ziel erfüllen. Der erste Ansatz besteht darin, die gefundene Nahrung zu zählen. Wenn die Nahrungsmenge einen bestimmten Schwellenwert überschreitet, gilt das Revier als lebensfähig. Der zweite Ansatz beinhaltet die Vergabe einer Lebensleiste an den Agenten, die seine Vitalität darstellt. Bei ungünstigen Bedingungen wie unzureichender Nahrung und kaltem Wetter nimmt die Vitalität ab. Wenn die Vitalität auf 0 sinkt, gilt der Agent als verstorben und das Revier wird negativ bewertet. Gleichzeitig sollte die Vitalität wieder aufsteigen, wenn die Bedingungen gut stehen. Diese Ansätze ermöglichen eine Bewertung der Revierlebensfähigkeit und tragen zur Analyse und Auswertung der Gebiete bei. Durch die Kombination von Zeitabschnitten, Bewegung, Nahrungssuche, Wetterbedingungen und Überlebenskriterien entsteht ein umfassendes Simulationsmo-

dell, das zur weiteren Untersuchung und Analyse der Vogelpopulation eingesetzt werden kann.

### 5.4.5 Logging

Sobald ein Agent das Gebiet als valide erkennt, werden die entsprechenden Felder markiert und dem Landscape-Layer übergeben werden. Nachdem alle Ticks durchgelaufen sind, wird die Simulation beendet. Das System läuft jedoch weiter, da die Daten noch geloggt und abgespeichert werden müssen. Eine Methode für das Logging greift auf die Resultat-Datei zu, die in der Konfigurationsdatei angegeben wird. Diese Resultat-Datei ist eine Kopie der Meadow/Wiese-Datei mit einem anderen Namen und in einem anderen Ordner, um sie von anderen Dateien unterscheiden zu können. Die Methode sucht nach den Positionen der geeigneten Felder, die von den Agenten gesammelt wurden. Die Datei besteht nur aus Nullen und Einsen, mit Ausnahme der Header-Informationen einer üblichen ASCII-Datei (welcher im nächsten Abschnitt 5.4.6 betrachtet wird). Die ASCII-Dateien basieren auf einfache Werte der Computersprache und stellen Inhalt für das Simulieren des Systems und der Agenten bereit. Einsen sind Leere-Werte, die nichts oder irrelevante Werte der Datei darstellen, während die Nullen die relevanten Werte darstellen. Zum Beispiel werden Straßen in der Straßendaten-Datei mit Nullen dargestellt und der Rest mit Einsen. Sobald die Methode bei der entsprechenden Position des Feldes angekommen ist, markiert sie dies, indem der Wert durch einen neuen Wert ersetzt wird, der weder Null noch Eins ist. Das Logging kann außerdem auch für die Schritte in den Abschnitten 5.4.3 und 5.4.3 genutzt werden.

### 5.4.6 Visualisierung

Zur Visualisierung werden Geodaten mit QGIS, einem auf Geodaten spezialisierten Visualisierungsprogramm, angepasst und exportiert. Da die exportierten Dateien dieselben Koordinatenbezugssysteme wie QGIS nutzen, gestaltet sich die Visualisierung unkompliziert. Orte werden direkt markiert, um Funde schnell erkennbar zu machen. Für das Agentensystem werden dafür sogenannte ASCII-Dateien genutzt. Sie enthalten Header-Informationen wie die Anzahl an Spalten und Reihen, die Größe der Zellen, den Wert für die Leeren-Werte sowie die Koordinatenposition der Datei innerhalb des Dokuments. Die „xll“ und „yllcorner“-Koordinaten geben dabei die Position der Datei innerhalb der

entsprechenden Karte an und werden je nach ASCII-Datei-Typ entweder als „corner“ oder „center“ angegeben. Der Typ legt fest, ob die Koordinate den Mittelpunkt oder den unteren linken Punkt der Datei wiedergibt, ab dem die Datei ausgelesen wird.



## 6 Ergebnisse

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse des Systems, die sich auf die Forschungsgebiete Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern konzentriert, präsentiert. Die Ergebnisse sind in drei aufeinander folgenden und aufbauenden Phasen unterteilt, wobei dieses Kapitel hauptsächlich die Ergebnisse der ersten Phase behandelt. Es soll aber auch ein Blick auf die Phasen 2 und 3 geworfen werden, um mögliche Hinweise und Erkenntnisse zu verdeutlichen, die für spätere Forschung genutzt werden kann.

Die erste Phase stellt den deterministischen Teil des Systems dar und ist Teil der Initialisierungsprozesses des Systems. Hier wurden umfangreiche Daten der Layer analysiert und ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Phase sollten einen Einblick in das Potenzial des Systems sowie das Potenzial der Forschungsgebiete selbst bieten.

In der zweiten Phase des Forschungsprozesses liegt der Fokus auf dem dynamischen Aspekt des Systems, der Simulation. Als Basis der Phase Zwei werden die Ergebnisse aus Phase Eins gebraucht. Hier werden verschiedene Parameter und Variablen berücksichtigt, welche die Veränderung der Umwelt widerspiegeln und die Agenten (Wiedehopfe) innerhalb eines Zeitverlaufs beeinflussen. Diese Ergebnisse werfen Licht auf die Dynamik des Ökosystems in den Forschungsgebieten und deren Effekt auf die Population der Wiedehopfe.

Die dritte Phase der Untersuchung konzentriert sich auf den Vergleich der erzielten Ergebnisse aus Phase zwei mit den Daten aus ornitho. Dieser Vergleich dient der Validierung und Überprüfung der Genauigkeit des entwickelten Systems. Durch den Abgleich mit externen Quellen wird die Zuverlässigkeit und Qualität der Ergebnisse sichergestellt.

Am Ende des Kapitels werden die Forschungsgebiete Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern miteinander verglichen. Dieser Vergleich ermöglicht es, die Stärken und Schwächen der beiden Gebiete hervorzuheben und ihre jeweiligen Potenziale zu bewerten.

## 6.1 Schleswig-Holstein

### 6.1.1 Potenzielle Flächen für Brutgebiete

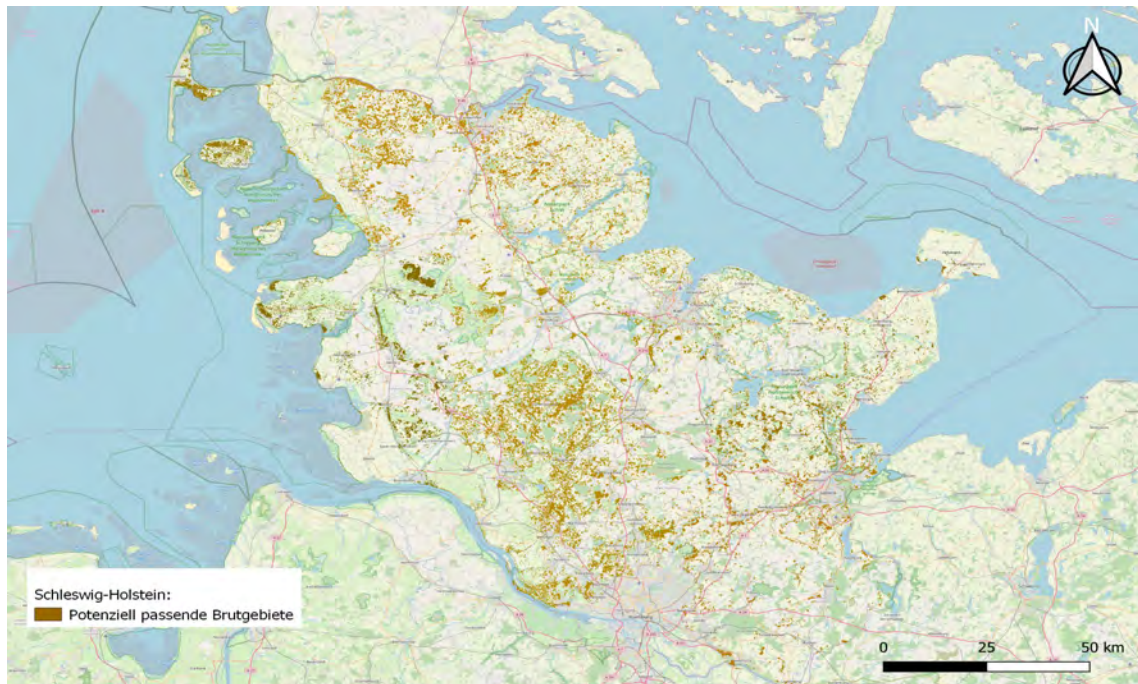


Abbildung 6.1: Potenzielle Brutgebiete in Schleswig-Holstein

Die Phase Eins ist Teil der Vorarbeit, bevor die Simulation der Agenten durchgeführt wird. Sie wird während der Initialisierungsphase des Systems ausgeführt. Die daraus entstehenden Ergebnisse werden gespeichert, exportiert und in QGIS eingesetzt. QGIS ermöglicht es, die Ergebnisse zu visualisieren und Karten zu erstellen, um diese außerhalb des Systems zu analysieren. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Phase vorgestellt, welche als Basis für die Phase Zwei genutzt wird. Die Phase Eins ist in zwei Schritten aufgeteilt, dem Berechnen der potenziellen Flächen für Brutgebiete und das Clustering für potenzielle Brutgebiete. Für den ersten Schritt werden die Geodaten der Layer für jedes Feld miteinander kombiniert und verglichen. Die Felder mit einer positiven Auswirkung für den Vogel werden markiert.

Kurz zusammengefasst bestehen die Flächen aus Feldern für die Nahrungssuche und für potenzielle Nistplätze. Felder, die Straßen in jeglicher Form darstellen sind ausgeschlos-

sen und die Höhe der Felder liegt zwischen 0 m und 55 m über dem Meeresspiegel. Die Höhe stellt hierbei den durchschnittlichen Bereich dar, in dem sich die Vögel aufhalten. In der Abbildung 6.1 sind nun alle Felder zu sehen, welche in potenziellen Brutgebieten vorhanden sein könnten. Das Problem ist hierbei, dass beim Zusammenlegen der verschiedenen Daten, die Felder einzeln betrachtet werden. Die Vögel leben wiederum in größeren Gebieten, welche hunderte bis tausende Felder beinhalteten. Daher sollten die Felder auch zusammen, innerhalb eines Kontexts betrachtet werden. Dafür ist der zweite Schritt der ersten Phase zuständig, dessen Ergebnis in der nächsten Sektion vorgestellt wird.

### 6.1.2 Clustering von potenzielle Brutgebieten

Diese Sektion stellt die Ergebnisse des zweiten Schritts der Phase Eins dar, dem Clustering. Zu sehen sind potenzielle Flächen für Brutgebiete, welche innerhalb begrenzter Räume, nach den Vorzügen des Vogels bewertet werden. Die begrenzten Räume sollen Reviere darstellen, welche für die Agenten in der Phase Zwei bereitgestellt werden. Dementsprechend lag die Größe der Räume bei  $6 \text{ km}^2$ . Es stellt die mittlere Größe des Reviers eines Wiedehopfes dar, welche stark variieren und zwischen 1 ha und 10 ha liegen können [23]. Die Reviere müssen  $600 \text{ m}^2$  an Grasflächen besitzen, um genügend Nahrung bereitzustellen. Zusätzlich braucht es mindestens  $100 \text{ m}^2$  an Baumflächen, die potenzielle Nistplätze werden können. Die Werte für die Gras- und Baumflächen wurden nach ausgiebigen testen ausgewählt. Die Anzahl der Felder mit störenden Faktoren, wie Straßen, darf nicht die Anzahl der zuvor genannten Felder übersteigen. Diese Bedingung ist wichtig, um sicherzustellen, dass der Vogel sich wohlfühlt und nicht zu vielen negativen Einflüssen ausgesetzt ist.

Die Markierungen (Reviere) sind weit im Land verbreitet. Insbesondere in der Mitte und im Süden des Landes gibt es viele zu sehen. Wie diese zustande gekommen sind, wird sich im genaueren Detail angeschaut. Die komplette Ansicht des Bundeslands befindet sich im Anhang A.2.

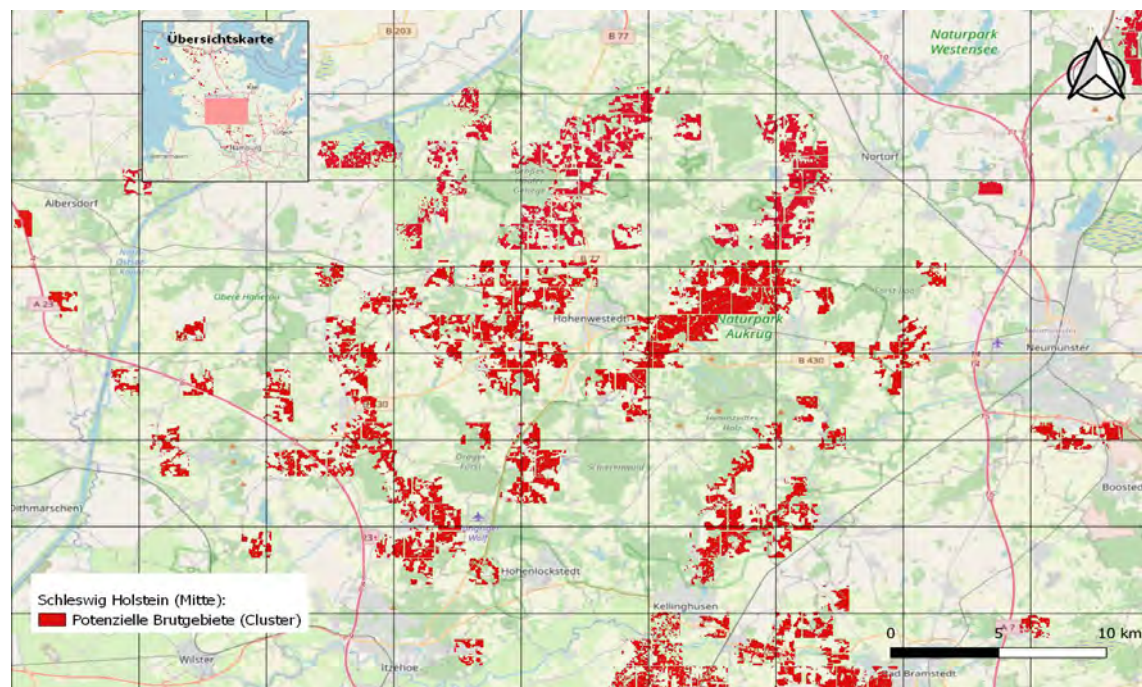


Abbildung 6.2: Potenzielle Brutgebiete in der Mitte von Schleswig-Holstein

In der Mitte des Landes ist der Naturpark Aukrug (Rund um Zeile 4, Spalte 6), ein potenziell wichtiger Lebensraum für den Wiedehopf. Der Naturpark Aukrug scheint auf ersten Blick gute Bedingungen für den Vogel zu bieten, doch dies gilt nicht für das gesamte Gebiet. Zwischen trockenen Wiesen mit kurzer und schütterer Pflanzendecke liegen auch waldähnliche oder feuchte Gebiete, die der Wiedehopf eher meidet. Markierungen wie die bei Hohenlockstedt (Spalte 4/5, Zeile 7 in der Abbildung 6.2 zu sehen) sollten eher weniger betrachtet werden, da der anliegende Flugplatz und der Lärm durch die Flugzeuge es unwahrscheinlich machen, dass die Vögel dort verweilen würden.

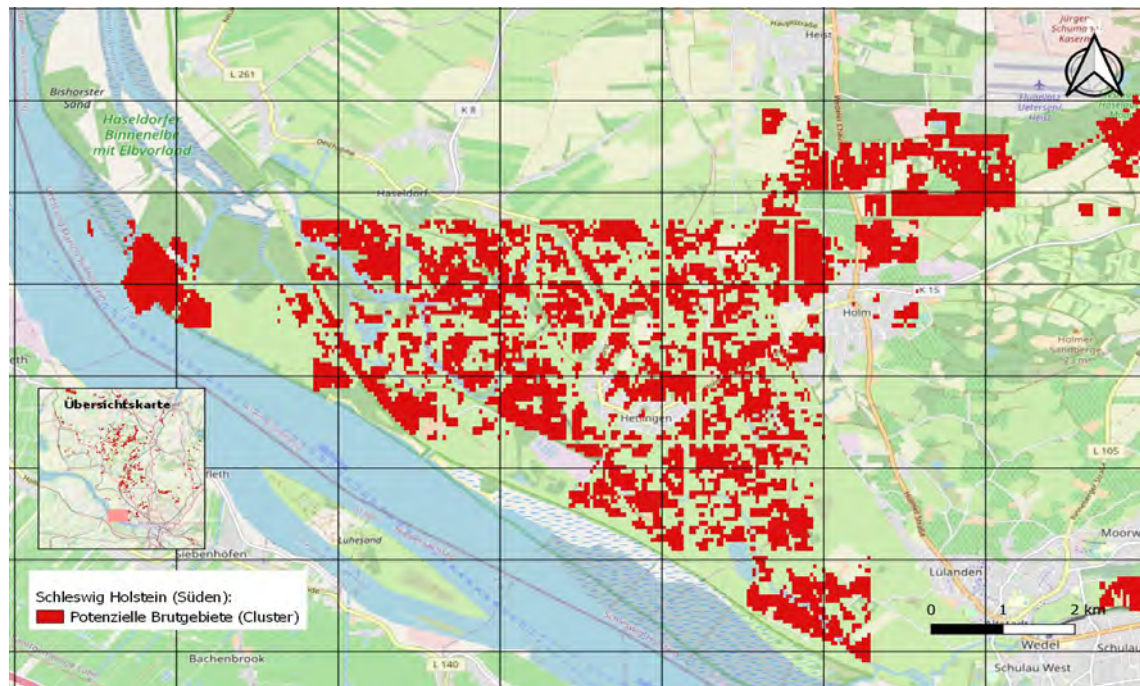


Abbildung 6.3: Potenzielle Brutgebiete im Süden Schleswig-Holsteins

Im Süden liegen viele Punkte in der Nähe der Elbe. Ähnlich wie der Naturpark Aukrug sollte auch dort das Naturschutzgebiet Haseldorfer Binnenelbe mit Elbvorland gute Qualitäten aufweisen. Offene bis halboffene Wiesen mit lockerer Pflanzendecke, Obstgärten, was auf ein erhöhtes Insektenvorkommen hindeuten könnte und weitere verschiedene Bodentypen. In der Abbildung 6.3 gehören alle Markierungen in der ersten bis zur vierten Spalte zum Naturschutzgebiet Haseldorfer Binnenelbe. Die Markierung, die in der Nähe des Nordpfeils zu sehen sind, können von weniger Bedeutung sein. Denn direkt unter dem Pfeil ist ein Flughafen zu sehen, welcher sich negativ auf die Vögel auswirken würde.

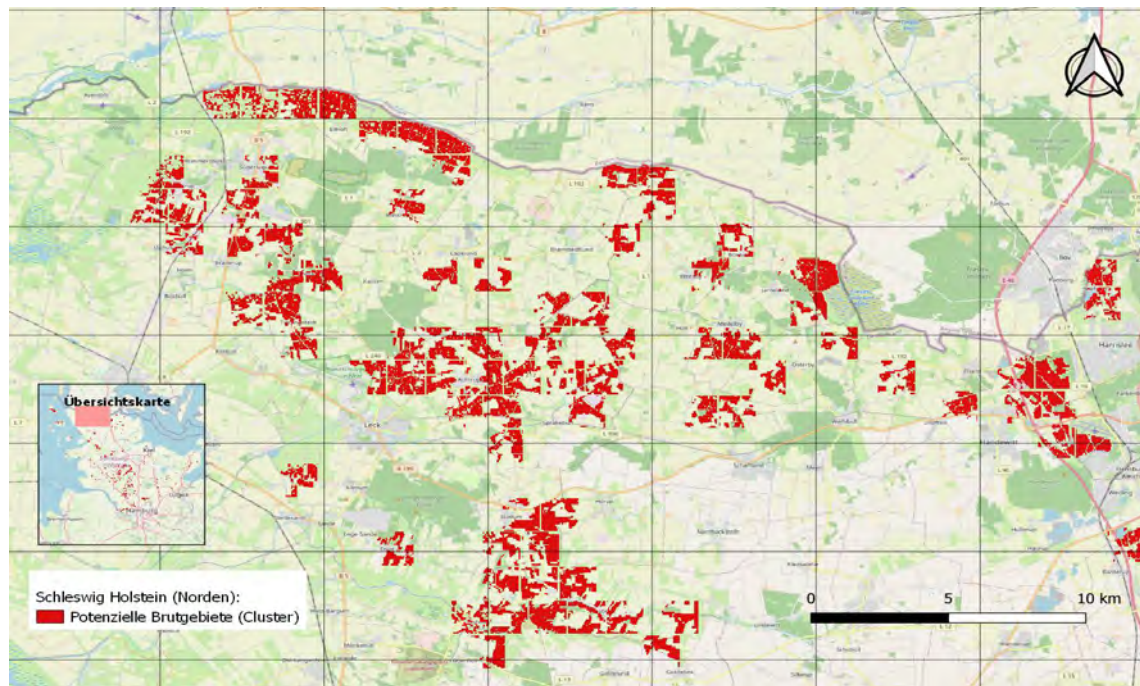


Abbildung 6.4: Potenzielle Brutgebiete im Norden Schleswig-Holsteins

Im Norden des Landes gibt es ebenfalls viele potenzielle Lebensräume für den Wiedehopf, obwohl es so scheint, dass durch die Anzahl der Wohngebiete in den Gemeinden eine erhöhte Menschenpopulation vorhanden ist. Verglichen mit städtischen Gebieten sollte die Menschenpopulationen aber immer noch gering sein und daher auch die Interaktion zwischen Menschen und Wiedehopf. Einige Bereiche werden außerdem für Vieh- und Pflanzenzucht genutzt, was sich auf die Nahrung auswirken könnte. Insgesamt sind viele Bereiche eher ruhig und sollten zu den Präferenzen der Wiedehopfe passen.

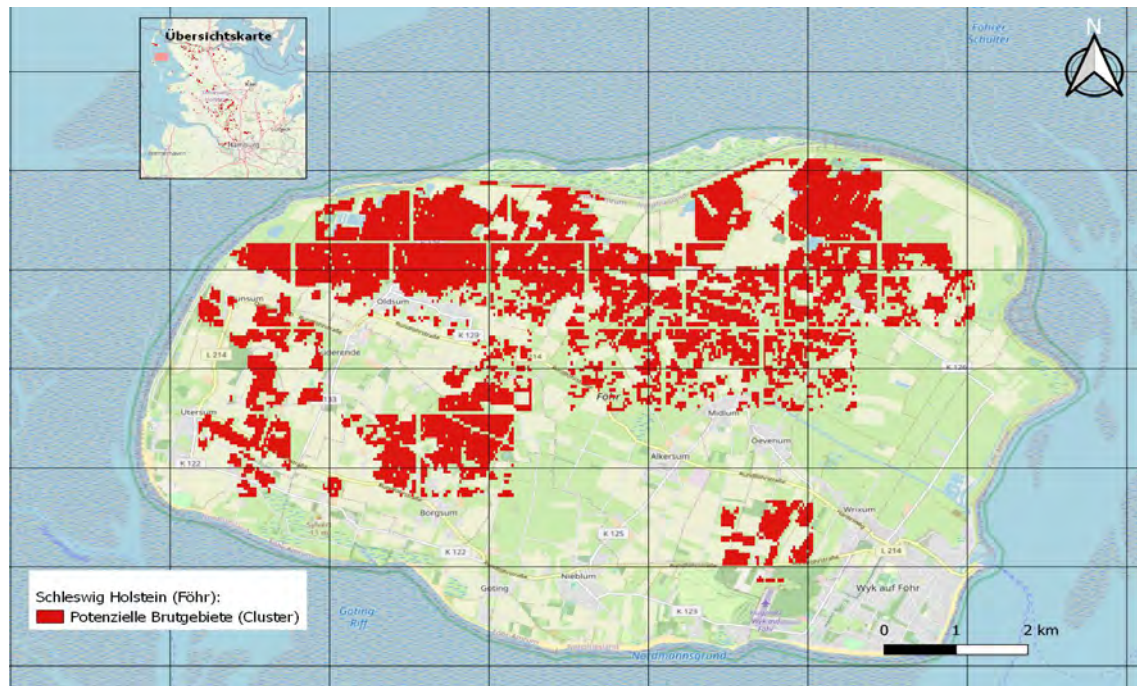


Abbildung 6.5: Potenzielle Brutgebiete auf der Föhr

Unter den Inseln im Land bietet Föhr (Abbildung 6.5) die meisten Lebensräume für den Wiedehopf. Insbesondere auf der nördlichen Hälfte scheinen die Bedingungen den Präferenzen des Vogels zu ähneln. Trotzdem muss beachtet werden, dass obwohl die Insel viele offen gelegene Wiesen vorweist, viele Teile der Insel eher feucht sind. Die Feuchte kann den Wiedehopf, welcher trockene Gebiete bevorzugt, verscheuchen. Im südöstlichen Bereich sind zusätzlich viele Straßen und Gebäude, was für das Abhanden von potenzieller Lebensräume spricht.

### 6.1.3 Wiedehopf-Sichtungen des DDA

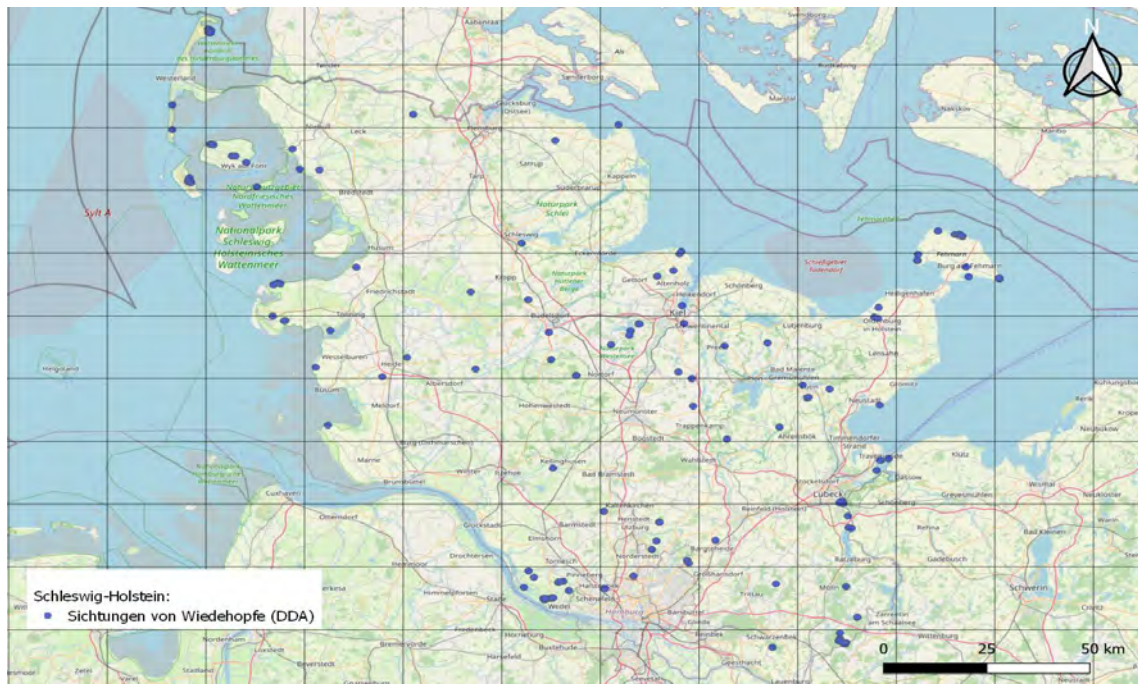


Abbildung 6.6: Wiedehopf-Sichtungen in Schleswig-Holstein

Für den Vergleich wurden nur die Positionen der Sichtungen entnommen. Jede einzelne Sichtung eines Wiedehopfs enthält den Namen des Ortes und die exakten Koordinaten. Mithilfe dieser Informationen wurden Daten in QGIS visualisiert und ein einfaches Bild konnte erstellt werden. Es sind insgesamt 157 Markierungen für Sichtungen von Wiedehopfen in Schleswig-Holstein auf der Karte verteilt (Abbildung 6.6). Von den Markierungen überlappen sich auch viele, welche in der Heatmap 6.7 besser zu erkennen sind.



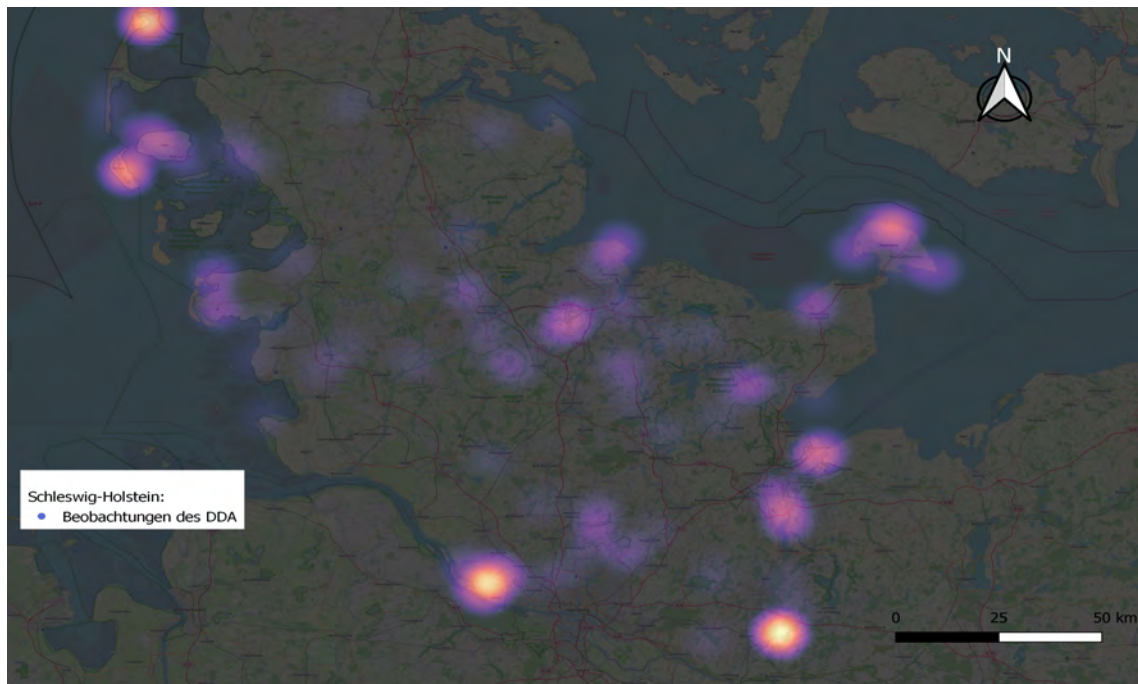


Abbildung 6.7: Heatmap von Wiedehopf Sichtungen in Schleswig-Holstein

Die Daten des DDA zeigen, dass insgesamt 157 Markierungen für Sichtungen eines Wiedehopfes im Land verteilt sind. Diese Markierungen sind in jeder Richtung verteilt, wobei viele im südlichen Bereich des Landes zu finden ist und der Norden nur wenige Markierungen aufweist. Interessanterweise lassen sich relativ nah an den Sichtungen Wasserquellen aufzeigen. Es ist auch aufgefallen, dass viele der Sichtungen in der Nähe Naturschutzgebieten oder Naturparks im Süden des Landes liegen (siehe Abbildung 6.3. Dies könnte darauf hindeuten, dass diese Gebiete möglicherweise wichtige Lebensräume für den Wiedehopf darstellen. Auf der anderen Seite könnte auch die Annahme getroffen werden, dass an diesen Bereichen mehr Sichtungen durchgeführt wurden sind als in den anderen Bereichen.

## 6.2 Mecklenburg-Vorpommern

### 6.2.1 Potenzielle Flächen für Brutgebiete



Abbildung 6.8: Potenzielle Brutgebiete in Mecklenburg-Vorpommern

Hier sind potenziellen Brutgebiete ohne Betrachtung der Reviergröße zu sehen. Es gelten dieselben Bedingungen, wie beim Prozess im Forschungsgebiet Schleswig-Holstein. In der Abbildung 6.8 fällt dabei direkt auf, dass Mecklenburg-Vorpommern an mehr Flächen mit potenziellen Brutgebieten verfügt. Die Markierungen sind in jeder Richtung des Bundeslandes zu finden. Ausnahme ist der südliche Punkt, welche kaum Markierungen aufweist.

## 6.2.2 Clustering von potenziellen Brutgebieten

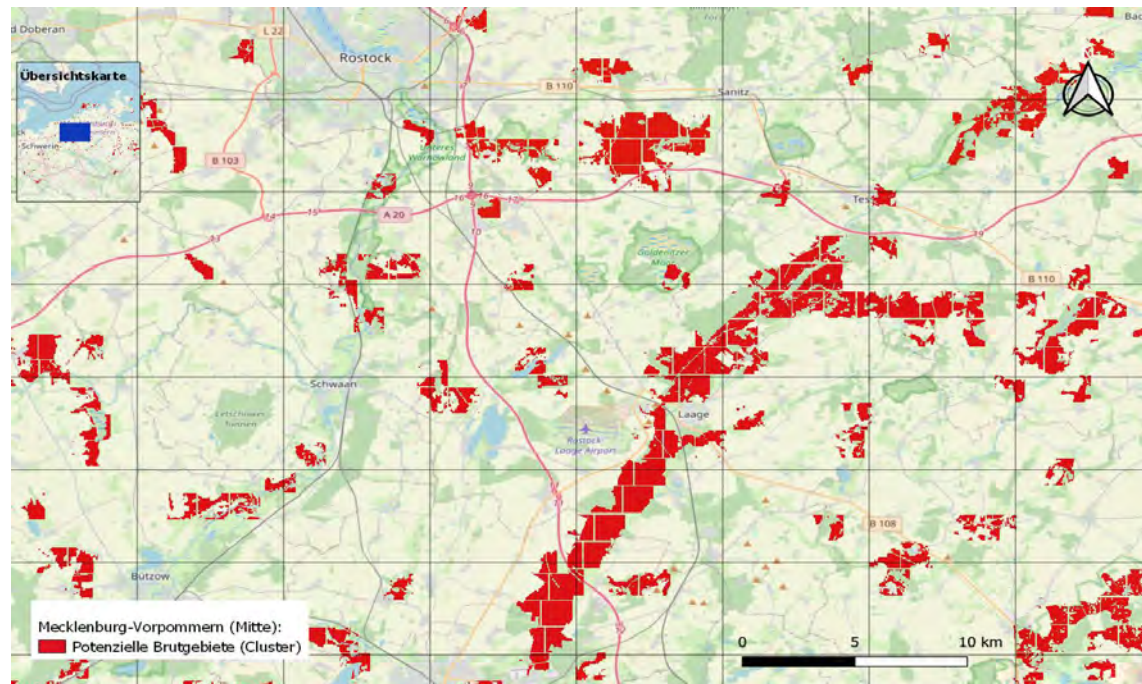


Abbildung 6.9: Potenzielle Brutgebiete mittig von Mecklenburg-Vorpommern

Die Ergebnisse zeigen, dass die Markierungen von Westen nach Osten verteilt sind und viele Teile von Mecklenburg-Vorpommern abdecken. Davon sind viele potenzielle Lebensräume in der Mitte des Bundeslandes zu finden, die aus unbenutzten Grasflächen außerhalb von Ortschaften bestehen. Allerdings gibt es auch einige Markierungen, die eher unwahrscheinlich sind. Beispielsweise liegen einige potenzielle Lebensräume zu nah am Flughafen Rostock (Zeile 5, Spalte 4-5). Weiterhin liegen auch die Markierungen südwestlich (Zeile 7, Spalte 1-2) mitten in städtischen Bereichen. Durch den Lärm und der erhöhten Menschenanzahl ist es daher eher unwahrscheinlich, dass diese als Brutgebiete geeigneten wären.

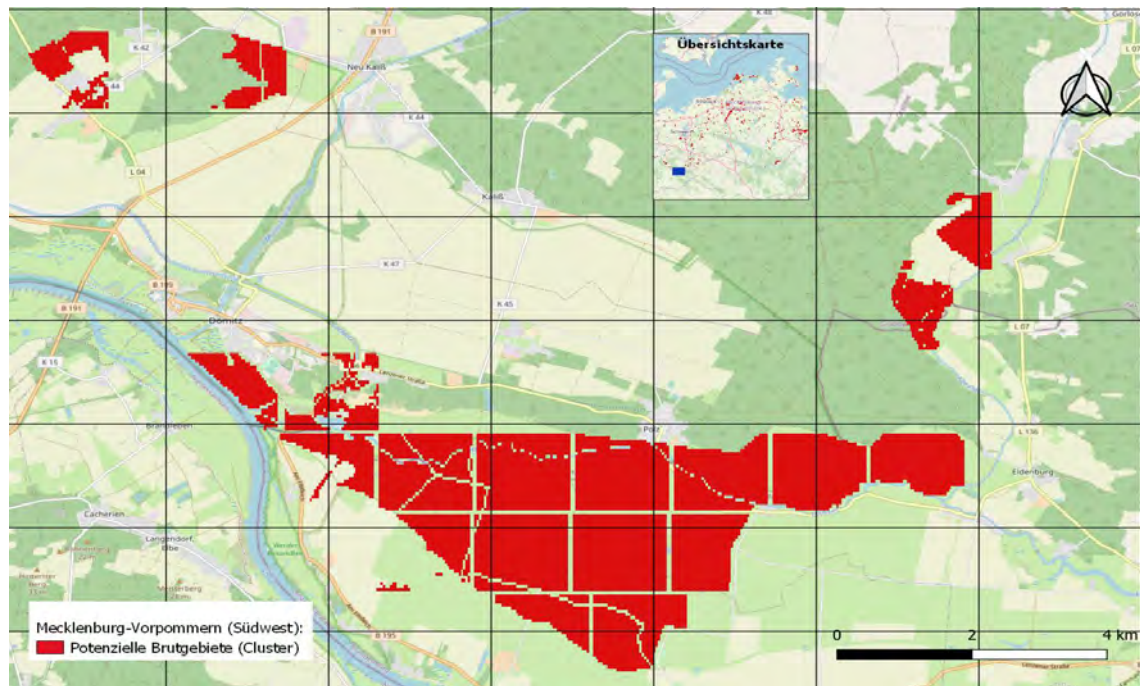


Abbildung 6.10: Potenzielle Brutgebiete in südwestlich von Mecklenburg-Vorpommern

Besonders konzentriert sind die Markierungen im südwestlichen Teil von Mecklenburg-Vorpommern, welche an der Elbe angrenzen. Dort gibt es viele unbenutzte Flächen und wenige Straßen, welche die Vögel in Brutgebieten stören könnten. Auch hier befindet sich ein Naturschutzgebiet (alle Markierungen ab Zeile 5), was auf eine gute Qualität der Umgebung hinweisen könnte. Bei genauer Recherche scheint das Gebiet eher ruhig zu sein und die Interaktion mit Menschen ist auch eher gering im Vergleich zu städtischen Bereichen. Im Vergleich dazu sollten im Süden weniger Markierungen erfolgreich sein, da es dort viele Baumflächen, vor allem Wälder, aber nur wenige unbenutzte Grasflächen gibt. Dennoch ist es möglich, dass einzelne Bäume an den Grenzen der Wälder von den Wiedehopfen genutzt werden.



Abbildung 6.11: Potenzielle Brutgebiete in Rügen (Mecklenburg-Vorpommern)

Inseln wie Rügen und Usedom zeigen auch potenzielle Brutgebiete, allerdings sind diese auf Rügen größtenteils im Nationalpark (Zeile 2-4, Spalte 7-8) zu finden. Der Nationalpark besteht größtenteils aus Wäldern, von denen einige Moore beinhalten. Offenland ist auch im kleinen Maße aufzufinden, aber durch die strikten Bedingungen und der Größe eher unwahrscheinlich, dass der Vogel hier verbleiben würde [12]. Zusätzlich ist es für sie zu feucht und windig und besonders die markierten Felder sind nicht sehr offen und mit vielen Bäumen bewachsen. Im Südosten von Rügen könnten die Chancen jedoch besser stehen, obwohl es auch dort zu feucht sein könnte. Das Naturschutzgebiet Mönchgut (Zeile 7-8, Spalte 8-9) ist dort und bietet eine Pflanzendecke, die den Präferenzen des Wiedehopfes entsprechen. Mit einer Fläche von 2340 ha und könnte das Gebiet sogar mehrere Paare gleichzeitig beherbergen.

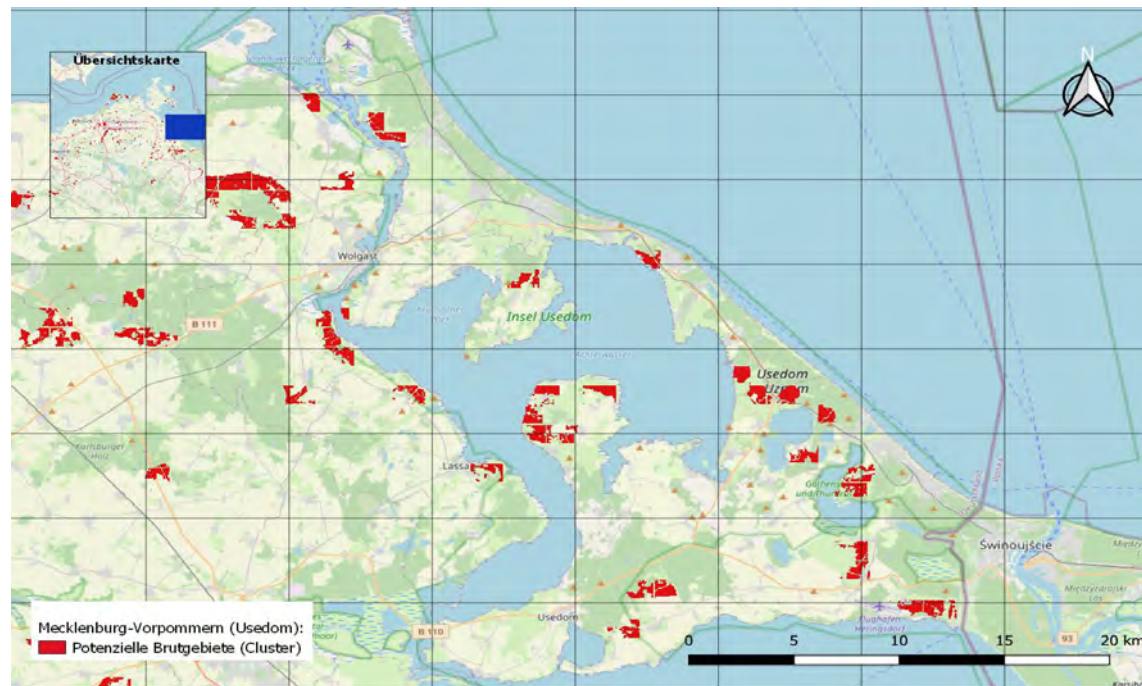


Abbildung 6.12: Potenzielle Brutgebiete in Usedom (Mecklenburg-Vorpommern)

Auf Usedom gelten ähnlichen Zustände wie auf Rügen. Trotzdem gibt es dort insgesamt eine größere Fläche an offenen Landschaften im Vergleich. Besonders gilt dies für die östliche Hälfte der Insel (ab Spalte 6). Allerdings werden viele Plätze auch von Menschen in regelmäßigen Abständen genutzt. Einige Plätze werden z.B. für Camping oder Golf oder auch andere Aktivitäten genutzt und sind deshalb eher weniger als Brutplätze geeignet. Ein Beispiel dafür wäre die südöstlichste Markierung in der Abbildung 6.12 (Zeile 8, Spalte 7), die einen Campingplatz beinhaltet. Zusätzlich ist nur wenige Kilometer westlich ein Flughafen (Heringsdorf HDF).

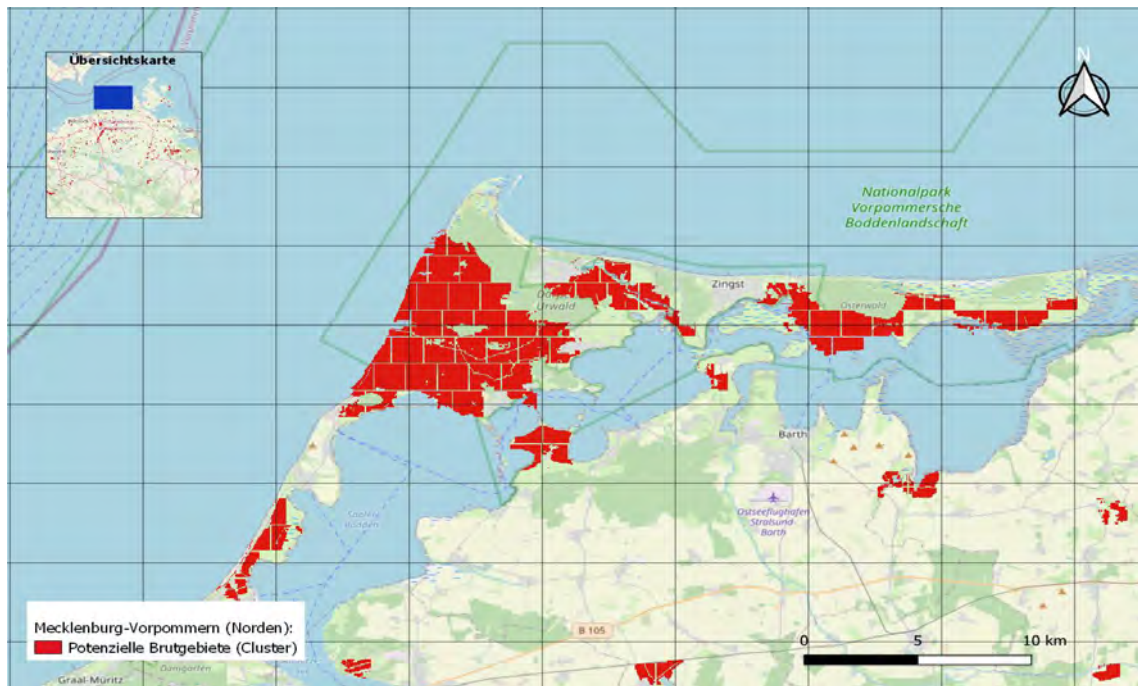


Abbildung 6.13: Potenzielle Brutgebiete nördlich von Mecklenburg-Vorpommern

Im Norden von Mecklenburg-Vorpommern gibt es westlich von Zingst (Zeile 4, Spalte 6) eine sehr große Markierung für potenzielle Lebensräume (ab Zeile 3, Spalte 4). Allerdings stellen die Flächen dort einen Wald dar und sind daher nicht geeignet für die Wiedehopfe. Einen potenziellen Lebensraum könnte der Wiedehopf hingegen, am wahrscheinlichsten an der nördlichen Spitze finden, wo die Dichte des Waldes abnimmt und das Gebiet offener ist. Man bedenke dennoch, dass der Vogel dadurch näher am Meer wäre und das Gebiet ggf. feuchter ist.

## 6.2.3 Wiedehopf-Sichtungen des DDA

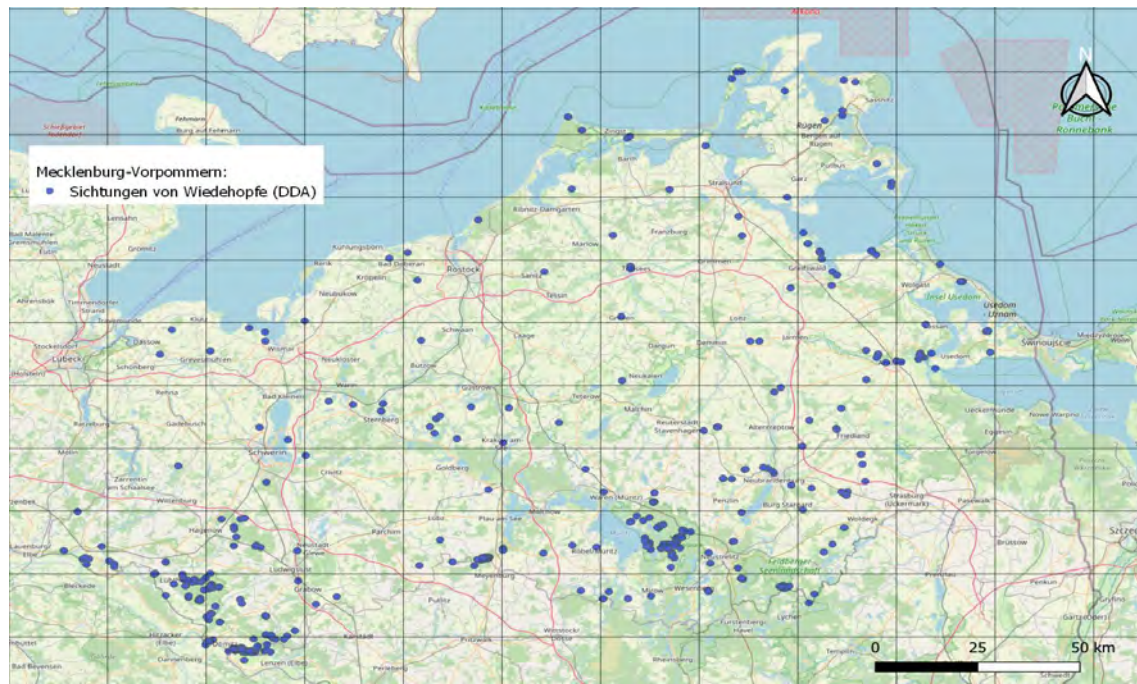


Abbildung 6.14: Wiedehopf Sichtungen in Mecklenburg-Vorpommern

Der DDA hat in Mecklenburg-Vorpommern eine Vielzahl von Sichtungen gemacht, um das Vorkommen des Wiedehopfs in dieser Region zu erforschen. Die meisten Sichtungen wurden im Süden und südwestlichen Bereich gemacht, insbesondere im Nationalpark Müritz und im Wildpark Boek (Zeile 8-9, Spalte 6-7). Im Norden sind im Gegensatz nur wenige zu finden. Fast alle der Sichtungen fanden, wie im Beispiel von Schleswig-Holstein in der Nähe von Gewässern statt und es sieht auch so aus, dass es eine erhöhte Anzahl an Sichtungen in geschützten Gebieten liegen. Beispielsweise erkennt man dies im Süden beim Nationalpark Müritz oder auch in Peenetal (Zeile 6, Spalte 9-10) im Osten. Aber auch die Inseln scheinen Ergebnisse zu liefern. Speziell wurden auf beziehungsweise in der Nähe von Usedom (Zeile 4-6, Spalte 10-11) in der Vergangenheit viele Wiedehopfe gesichtet. Usedom ist bekannt für Naturschutzgebiete und könnte daher eine gute Qualität bezüglich der Natur bieten. Einzelne Sichtungen sind noch in der Mitte und nordwestlich zu finden, aber diese sind sehr gering.



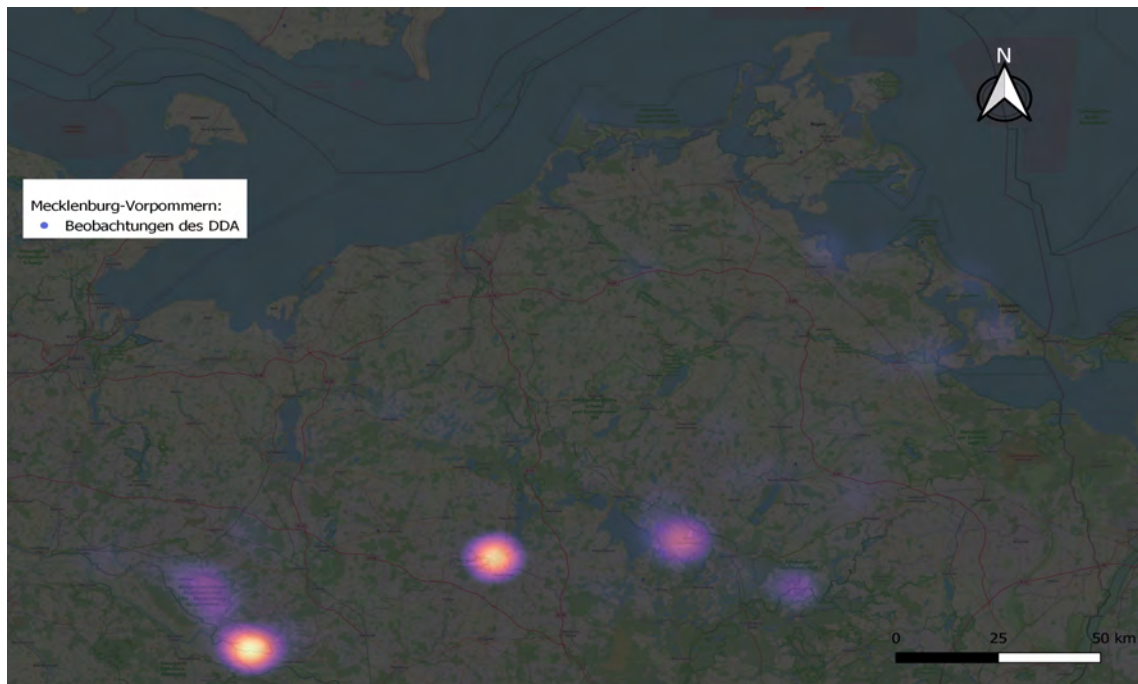


Abbildung 6.15: Heatmap der Wiedehopf Sichtungen in Mecklenburg-Vorpommern

Deutlich wird die Konzentration von Sichtungen in der Heatmap, wo über 400 von den 590 Punkten im Süden versammelt sind. Leichte Markierungen sind dabei noch im Osten zu sehen. In der Mitte, im Norden und nordwestlichen Bereich ist kaum noch etwas zu erkennen.

### 6.3 Ergebnisse der Simulation und Vergleich

Für die Phase Drei sollten die Ergebnisse der Agenten aus Phase Zwei mit den Daten aus ornitho miteinander verglichen werden, um die Validität der gefundenen Lebensräume zu zeigen. Diese Arbeit zeigt lediglich nur die Ergebnisse der Phase Eins und stellt genügend Informationen dar, um die Phase Zwei und Drei für spätere Forschung durchzuführen. Es ist wichtig, dass die Ergebnisse der Agenten mit den Sichtungen aus ornitho abgeglichen werden, um mögliche Überschneidungen und Korrelationen potenzieller Brutgebiete aufzudecken. Diese werden zur Validierung und Überprüfung der Ergebnisse aus Phase Zwei genutzt. Beim Vergleich wird geschaut, welche Sichtungen sich mit den Markierungen für potenzielle Brutgebiete überschneiden oder in relativer Nähe befinden. Die relative

Nähe wird hierbei anhand des Maßstabs von  $6 \text{ km}^2$  definiert, was der mittleren Größe von Lebensräumen eines Wiedehopfes entspricht.

Die Ergebnisse der ersten Phase bilden die Grundlage für die zweite Phase. Positive Ergebnisse in der zweiten Phase können nur in den markierten Bereichen auftreten, die aus den Ergebnissen der ersten Phase abgeleitet werden. Denn die Agenten werden nur auf oder in unmittelbarer Nähe dieser Bereiche platziert, da sie Teile der Reviere (potenziellen Brutgebiete) darstellen. In diesem Zusammenhang können bereits Hinweise aufgezeigt werden, welche Gebiete aus Phase Eins vielversprechender für darauffolgenden Phasen erscheinen, wenn sie mit den Sichtungsdaten verglichen werden.

Es ist zu beachten, dass für die meisten Sichtungen in ornitho der genaue Zeitpunkt nicht bekannt ist. In den Sichtungen, für die es bekannt ist, steht hauptsächlich Juli als Zeitpunkt da. Diese Informationen sind relevant, um mögliche zeitliche Einflüsse bei der Auswertung der Agentenergebnisse zu berücksichtigen. Für den Vergleich wird angenommen, dass alle Sichtungen innerhalb der Brutzeit (Mai-Juli) erfolgt sind.

Die Entscheidung, welche potenziellen Brutgebiete von den Agenten als lebensfähig eingestuft werden, steht noch aus. Dies hängt von verschiedenen variablen Einflüssen ab, die die Agenten betreffen. Diese Einflüsse können sich von Simulationsdurchlauf zu Simulationsdurchlauf ändern. Beispiele für solche variablen Einflüsse sind das Wetter und die Menge an verfügbarer Nahrung. Beispielsweise kann bei feuchter und kühler Wetterlage die Lebensfähigkeit der Vögel deutlich sinken. Diese Wetterbedingungen wirken sich dementsprechend negativ auf die Vögel aus und können daher Auswirkungen auf die Beurteilung der Agentenergebnisse haben.

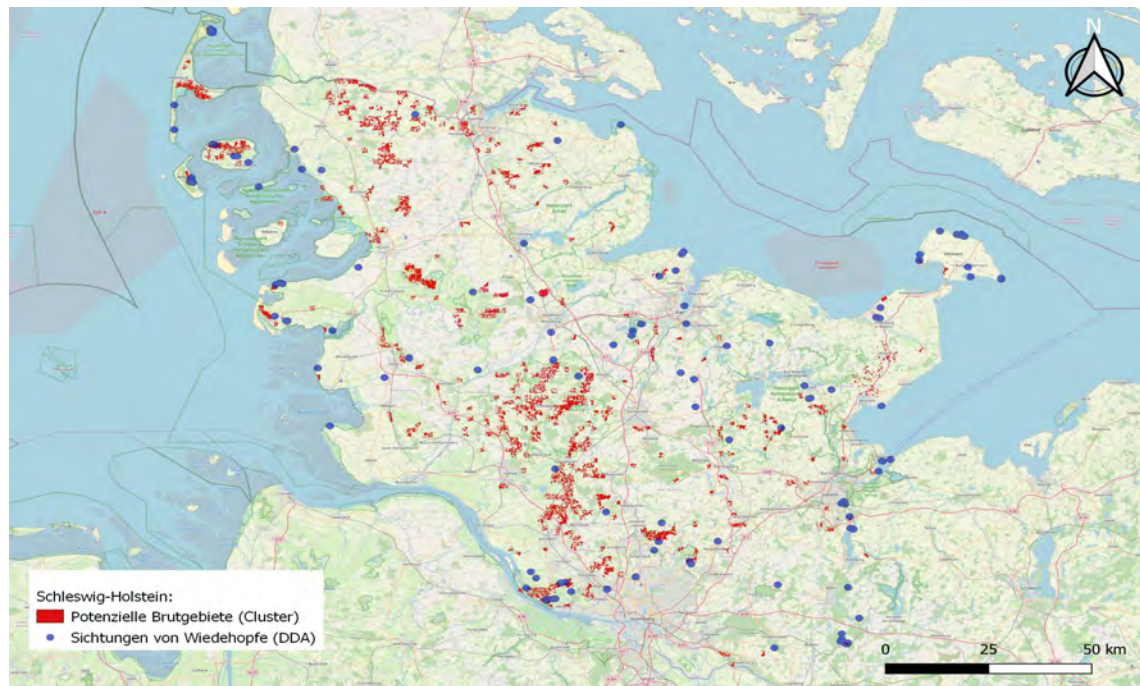


Abbildung 6.16: Vergleich der potenziellen Brutgebiete mit den Wiedehopf-Sichtungen in Schleswig-Holstein

Wenn angenommen wird, dass alle Markierungen aus Phase Eins, auch in Phase Zwei als legitimes potenzielles Brutgebiet ausgewertet wird, dann zeigt das System Potenzial. Denn viele Sichtungen und Markierungen des Systems sich überschneiden, wie in den Abbildungen 6.16 und 6.17 zu sehen ist. Von insgesamt 157 Sichtungen wurden etwa 83 erfolgreich vom System erfasst, was einer Trefferrate von 52,86% entspricht. In Mecklenburg-Vorpommern überschneiden sich 244 von 590 der Sichtungen mit den Markierungen der potenziellen Brutgebiete. Dies macht eine Trefferrate von 41,35% aus. Mecklenburg fällt da prozentual etwas schlechter aus, weil im Süden kaum Überschneidungen existieren. Dafür sind viele im südwestlichen Bereich, wo die stärkste Konzentration von Sichtungen sind (zu sehen in Abbildung 6.15).

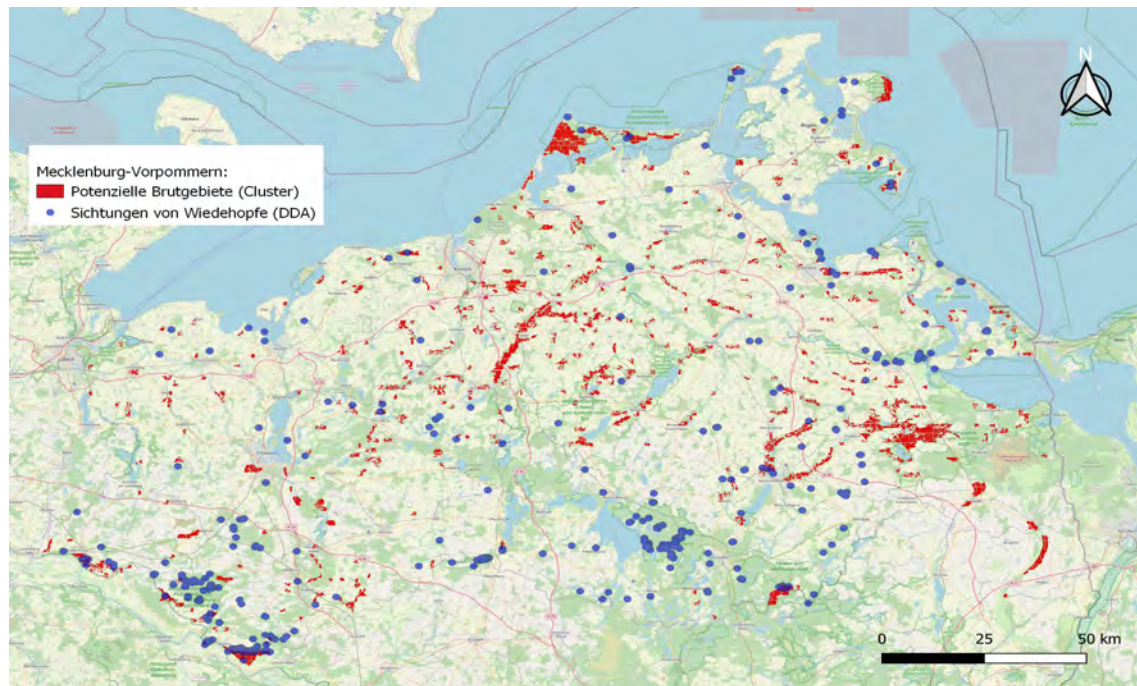


Abbildung 6.17: Vergleich der potenziellen Brutgebiete mit den Wiedehopf-Sichtungen in Mecklenburg-Vorpommern

Des Weiteren wurde beobachtet, dass viele Markierungen aus Phase Eins, als auch die Sichtungen in der Nähe von Gewässern liegen. Die Gewässer sind aber in Bereichen von Naturschutzgebieten und Naturparks gelegen. Es sollte also keine direkte Korrelation zwischen dem Vorkommen des Vogels und dem Vorhandensein von Wasser bestehen. Es ist eher wahrscheinlicher, dass nur die Wiesen in dem Bereich attraktiv für den Vogel erscheinen. Dies ist sinnvoll, da der Wiedehopf eher trockene Gebiete bevorzugt.

Auch ist aufgefallen, dass an manchen Positionen, mit Sichtungen und ohne Markierungen des Systems, viele Grasflächen von Menschen genutzt werden oder anderweitig kategorisiert sind. Das System erkennt mit den vorhandenen Daten daher die Grasflächen nicht. Die Gräser könnten z.B. größer und breiter sein. Somit würden sie nicht den Präferenzen des Wiedehopfs, von offenen und schütterten Pflanzendecke, entsprechen.

Außerdem wurde festgestellt, dass einige Gebiete zwar teilweise gute Bedingungen für den Wiedehopf aufweisen, aber weder vom System noch durch Sichtungen des DDA als relevante Lebensräume erfasst wurden. Daher ist es wichtig, auch Gebiete genauer zu betrachten, in denen keine Überschneidungen festgestellt wurden. Weitere Untersuchun-

gen und ein kontinuierliches Monitoring sind unbedingt erforderlich, um die Ergebnisse zu bestätigen und die Zuverlässigkeit des Systems zu gewährleisten. Dies gilt auch nach Vollendung der letzten Phase.

Mit dem fortlaufenden Überwachungsprozess wird es möglich, die Genauigkeit der Ergebnisse zu verbessern, potenzielle Lebensräume zu identifizieren und wertvolle Informationen für den Naturschutz und das Management des Wiedehopfes bereitzustellen.

## 6.4 Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern im Vergleich

Die Sichtungen des DDA zeigen, dass sowohl in Schleswig-Holstein als auch in Mecklenburg-Vorpommern Erfolge bei der Identifizierung potenzieller Lebensräume für den Wiedehopf zu verzeichnen sind. Es gibt auch Überschneidungen in den Präferenzen der beiden Bundesländer. Die Tatsache, dass viele Sichtungen in Naturparks oder Naturschutzgebieten gemacht wurden, deutet darauf hin, dass die Qualität der Flächen gut sein könnte. Gleichzeitig klärt dieser Fakt auf, warum viele Sichtungen und Markierungen potenzieller in der Nähe von Gewässern liegen, obwohl der Wiedehopf trockene Landschaften bevorzugt. Die Wasserquellen sind Teil der Naturpark/Naturschutzgebieten, welche die anderen Präferenzen des Vogels (z.B. große offene Wiese) abdeckt.

Flächenart	Schleswig-Holstein	Mecklenburg-Vorpommern
Gesamtfläche	15.763.000 m <sup>2</sup>	23.175.000 m <sup>2</sup>
Potenzielle Flächen für Brutgebiete	4.265.975 m <sup>2</sup>	5.901.890 m <sup>2</sup>
Potenzielle Brutgebiete	1.357.570 m <sup>2</sup>	2.226.970 m <sup>2</sup>

Tabelle 6.1: Vergleich der Flächengrößen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern

Die Grasfelder, die als Indikator für Nahrung genutzt wurden, sind in beiden Bundesländern zahlreich vorhanden. Mecklenburg-Vorpommern ist im Vergleich zu Schleswig-Holstein dennoch viel größer und bietet mehr Natur. Deutlich wird dies in der Tabelle 6.1. Mecklenburg-Vorpommern ist um 7.412 km<sup>2</sup> größer als Schleswig-Holstein. Wobei es eher unwahrscheinlich ist, dass von den 7.412 km<sup>2</sup>, alle potenzielle Flächen für Brut-

gebiete darstellen. Die berechneten Flächen für potenziell passende Brutgebiete zeigen dennoch, dass Mecklenburg-Vorpommern 1.635.915 km<sup>2</sup> an mehr Fläche als Schleswig-Holstein verfügt. Dies sind etwa 38,34% mehr Fläche als im benachbarten Bundesland. In den tatsächlich potenziellen Brutgebieten ist der Unterschied geringer. Hier bietet Mecklenburg-Vorpommern nur 869.400 m<sup>2</sup> mehr Fläche an. Prozentual sind dies aber 64,04% mehr im Vergleich. Zusätzlich ist aufgefallen, dass in Mecklenburg-Vorpommern eine diversere Nutzung der Grasfelder vorkommt und daher anders kategorisiert wurden. Falls einer dieser Kategorie für das System von Nutzen ist, könnte sich die Zahl an potenziellen Brutgebieten steigern.

Die Sichtungen des DDA zeigen, dass es im Landesinneren Deutschlands mehr potenzielle Lebensräume geben könnte, als im Norden oder an der Küste. Sehr deutlich wird dies in Mecklenburg-Vorpommern. Dabei muss auch erwähnt werden, dass im Süden Mecklenburg-Vorpommerns viele Flächen in Brandenburg übergehen und die Daten ggf. nicht komplett sind. Im Gegensatz sind diese in Schleswig-Holstein größtenteils deutlich von anderen Bundesländern getrennt.

Insgesamt bieten beide Bundesländer ähnliche Eigenschaften in der Natur. Dies wird unterstützt durch die vielen Parks und Schutzgebieten in den Bundesländern. Trotzdem muss gesagt werden, dass Mecklenburg-Vorpommern höheres Potenzial besitzt, um einen geeigneten Lebensraum für Wiedehopfe zu bieten. Die liegt vor allem an der Größe, aber auch in der Diversität in dem Punkt Natur scheint Mecklenburg-Vorpommern etwas mehr zu bieten.

Zum Schluss ist es nochmal wichtig zu erwähnen, dass die Ergebnisse nur potenzielle Lebensräume zeigen. Daher ist es zu betonen, dass die Studie nur ein erster Schritt zur Identifikation von potenziellen Brutgebieten für Wiedehopfe ist. Um zu sagen, ob ein Wiedehopf-Paar an einem bestimmten Ort brütet, sollte ein Monitoring, selbst nach der Phase Zwei und Drei, durchgeführt werden. Dabei können einige Orte ausgeschlossen werden, wenn sie nicht den Präferenzen des Wiedehopfs entsprechen. Ein Beispiel dafür wären Orte in der Nähe des Flughafens Rostock, die aufgrund des Fluglärms ungeeignet sind.

# 7 Diskussion und Ausblick

## 7.1 Diskussion

Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen, dass die Anwendung eines agentenbasierten Simulationsmodells zahlreiche Vorteile mit sich bringen kann. Die Verwendung dieses Modells ermöglicht es, auf Basis von simulationsgestützten Analysen und Vorhersagen effektive Entscheidungen zu treffen und fundierte Empfehlungen abzuleiten.

Die Ergebnisse zeigen vielversprechende Aussichten, potenzielle Brutgebiete von Wiedehopfen in Schleswig-Holstein zu identifizieren. Sie zeigen, dass 83 von 157 bzw. 52,86% der potenziellen Brutgebieten mit Beobachtungen in Schleswig-Holstein aus den vergangenen Jahren korrelieren. In Mecklenburg-Vorpommern liegen diese bei 244 von 590 bzw. 41,35%.

Die Beobachtungen des DDA sind größtenteils zufällig und können auch ziehende Vögel beinhalten. Wobei in dieser Arbeit nach genauen Brutgebieten von Wiedehopfen gesucht wird. Es ist wichtig zu beachten, dass die Ergebnisse der Vorverarbeitung aus Phase Eins sowie die Ergebnisse aus den Simulationsdurchgängen (Phase Zwei) als Empfehlungen dienen sollten. Die potenziellen Brutgebiete müssen deshalb einem systematischen Monitoring unterzogen werden, um die entsprechenden Ergebnisse zu validieren. Der Vergleich der Daten gibt den Ergebnissen also keine genaue Bestätigung über die Richtigkeit, sondern eher eine positive Tendenz und eine Empfehlung. Über die Gebiete, die im Vergleich keine Überschneidungen besitzen, können deshalb auch nur vorübergehende Tendenzen getroffen und auch als neutral betrachtet werden. Die Gebiete wurden nochmal detailliert betrachtet und wenn sie den Präferenzen des Vogels entsprechen, so haben sie eine positive Tendenz erhalten. Auch ist auffällig, dass ein Großteil der Beobachtungen in Naturschutzgebieten stattgefunden hat. Dies bedeutet zwar, dass diese Gebiete eine erhöhte Qualität besitzen, wirft aber auch die Frage auf, ob Personen genau deshalb ihre Beobachtungen dort tätigen. Eine Möglichkeit besteht darin, dass einige Orte vielleicht weniger

betrachtet werden, da man tendenziell zu Naturschutzgebieten fährt, um Wiedehopfe zu beobachten.

Nach Durchführung des Projekts sind bei der Systemarchitektur und der Verwendung von MARS als Framework einige Besonderheiten und Probleme aufgetreten, die diskutiert werden müssen. Die Aufbereitung einer agentenbasierten Simulation für die Ausbreitung war einfach umzusetzen, da MARS bereits viele Vorlagen dafür bietet und somit die Implementierung schnell gelingt. In einzelnen Aspekten mussten jedoch konventionelle Wege umgangen und alternative Lösungen eingesetzt werden. Denn einige Funktionen, die für speziell für dieses System gebraucht werden, sind zurzeit nicht vorhanden oder MARS wurde ggf. nicht optimal genutzt.

Bei der Erstellung der Agenten wurde der Abschnitt der Agenten in der Konfiguration komplett ignoriert und die Daten wurden dem Basic-Layer übergeben. Um Agenten in großer Anzahl zu erstellen, steht normalerweise ein Agentenmanager zur Verfügung, der dies automatisch erledigt. Allerdings erfordert dies, dass die Parameter/Eigenschaften der Agenten bereits vor Beginn der Simulation feststehen. Für das Projekt stellte es ein Problem dar, weil einige Eigenschaften noch berechnet werden mussten. Zu diesen Berechnungen zählten beispielsweise die Positionen der Reviere, die abhängig von der Umgebung sind.

Zurzeit bietet MARS auch kein Logging über ASCII-Formate an, weshalb eine eigene Methode dafür erstellt werden musste. Trotzdem muss gesagt werden, dass das Erstellen der Agenten und das Logging durch MARS einfach war. Mit MARS können Agenten einzeln manuell erstellt werden, ohne Agentenmanager, und die Informationen der Simulationen für das Logging werden einem am Ende eines Durchlaufs bereitgestellt.

Bezüglich des SDMs zeigt die prototypische Realisierung, dass sich ein agentenbasiertes Modell bewährt. Es hat zufriedenstellende Ergebnisse geliefert und könnte als Grundlage für weiterführende Forschung und Anwendung dienen. Trotzdem gibt es auch einige Probleme, die im Zusammenhang mit der Entwicklung und Anwendung des Systems auftraten. Es wurde beim Clustering darauf geachtet, dass die zusammenhängenden Flächen miteinander in einem Rahmen zusammengesetzt werden. Dies bildet, dass Revier der Vögel (Agenten). Ob diese aber vollständig oder richtig zusammengebracht wurden, steht zurzeit noch aus. Dieses Problem sollte ebenfalls durch ein Monitoring gelöst werden.



Ein weiteres Problem war die Qualität und Anzahl der verfügbaren Daten. Bevor das System genutzt werden konnte, mussten viele Daten vorhanden sein, und diese mussten auch eine gute Qualität aufweisen, damit die Ergebnisse auch valide sind. Einige Daten, die das System verbessert hätten, sind nur schwer zu oder gar nicht zu finden, weshalb diese nicht genutzt werden konnten. Je mehr Daten zur Verfügung stehen, desto präziser hätte man das System gestalten können.

Trotz dieser Schwierigkeiten hat das System auch einige Vorteile, die durch ein agentenbasiertes Modell erst möglich sind. Eins davon ist das Simulieren von Vögeln. Wenn ausreichend Daten vorhanden sind, lassen sich bestimmte Verhaltensmuster oder Abläufe der Vögel simulieren, ohne dass man aufwendige Feldstudien durchführen muss. Dabei muss jedoch angenommen werden, dass das System auch brauchbare Ergebnisse erzeugt und nicht nur eine grobe Annäherung an das tatsächliche Verhalten der Vögel darstellt.

Ein weiterer Vorteil des Systems besteht darin, dass es vorhandene Daten weiterverarbeiten und Bezüge und Verknüpfungen erkennen kann, wenn die Daten miteinander genutzt werden. Das System bietet auch noch viele Ausbaumöglichkeiten und kann als Grundlage für weitere Forschung und Anwendung dienen. Insgesamt kann man sagen, dass die prototypische Realisierung des SDMs auf Basis von agentenbasierten Modellen ein vielversprechender Ansatz ist, um das Verhalten von Vögeln bezüglich der Verteilung zu simulieren und potenzielle Brutgebiete zu identifizieren. Allerdings sind weitere Forschung und Verbesserungen in Bezug auf die Datenqualität und -quantität sowie die Gebietsaufteilung der Agenten notwendig, um das volle Potenzial dieses Ansatzes auszuschöpfen.

## 7.2 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Nutzung eines agentenbasierten Simulationsmodells erfolgreich war und Vorteile bietet. Durch den Klimawandel zieht es Exemplare des Wiedehopfes, eines Vogels des Mittelmeers, weiter nach Norden. Der Vogel, der seit vielen Jahren in Deutschland als gefährdet gilt, könnte sich hier wieder vermehren.

Das Ziel dieser Arbeit war es, Orte zu vorzuzeigen, an denen die Wiedehopfe während ihrer Brutzeit verweilen. Das Aufzeigen dieser Orte hat das Potenzial, den Vogel besser zu verstehen und die Orte nachhaltig zu schützen. Im Vergleich korrelieren 52,86% der

Sichtungen von ornitho.de mit den Ergebnissen Schleswig-Holstein und in Mecklenburg-Vorpommern ist dies bei 41,35%.

Durch den Vergleich wurden viele Tendenzen bei der Ortswahl ersichtlich und durch die Korrelationen können generelle Empfehlungen bereitgestellt werden.

Es sind aber auch Fragen bzw. Unsicherheiten aufgetreten. Die Markierungen, die sich nicht mit den Punkten von ornitho.de überschneiden haben, sind noch etwas unklar. Die Gebiete wurden im Detail noch einmal betrachtet und es konnten die jeweiligen Eigenschaften entnommen werden. Zwar konnten Tendenzen festgestellt werden, aber nicht jedes Gebiet zeigte eine starke Schwankung ins Positive oder Negative. Gebiete ohne starke Tendenz werden also zunächst als neutral betrachtet, da eine Bestätigung wie die Daten des DDAs oder über ein Monitoring zurzeit nicht vorhanden sind.

Die Realisierung eines prototypischen SDMs mithilfe eines Multiagentensystems mit MARS als Framework wurde als positiv bewertet. Die Idee eines Multiagentensystems ist wie gemacht für diesen Anwendungsfall. Durch das Nutzen einer Mehrzahl von Agenten können Untersuchungen von vielen Gebieten gleichzeitig durchgeführt werden. Die Agenten können durch ihr eigenständiges Denken auf verschiedene Umgebungen reagieren. Die Umgebung ist leicht zu verstehen, da nur die wesentlichen Aspekte der Welt abgebildet werden. Das Implementieren des Systems wurde durch MARS sehr erleichtert, da Schablonen für Klassen bereits bereitstehen. Zusätzlich werden von MARS auch viele Schritte übernommen, z.B. Teile der Initialisierung.

Allerdings sind bei der Implementierung eines agentenbasierten Simulationsmodells auch einige Herausforderungen zu bewältigen. So kann es beispielsweise schwierig sein, die Gebiete der Agenten optimal aufzuteilen, besonders wenn das Gebiet sehr groß ist. Auch die Qualität und Quantität der verfügbaren Daten können eine Herausforderung darstellen. Bevor das Modell genutzt werden kann, müssen bereits viele Daten vorhanden sein und diese müssen auch eine gute Qualität besitzen, um aussagekräftige Ergebnisse zu liefern.

### 7.3 Ausblick

Das System kann kurz- oder auch langfristig erweitert und ggf. verbessert werden. Eine Schwierigkeit des Systems war die Datenbeschaffung, wodurch die Bedingungen der Wie-

dehopfe nicht optimal waren. Dabei sind zwei Punkte sehr relevant. Zum einen war es schwer zu bestimmen welche Gebietstypen geeignete Bäume oder andere Nistplätze angeboten haben. Zum anderen war es auch schwer zu sagen, welche Gebiete viel Nahrung vorweisen.

Man beachte aber, dass diese Daten auch nur schwer zu erhalten sind, vor allem auf einem Untersuchungsgebiet dieser Größe. Eine Idee dazu wäre, das gesamte Untersuchungsgebiet zu verkleinern oder in noch kleinere Teile zu zerlegen. Wenn das Gebiet klein genug ist, lassen sich vielleicht eigene Daten erstellen, welche präziser sein könnten. Man kann die neu gewonnen Informationen zur Erweiterung der vorhandenen Daten nutzen. Die Daten aus der OSM sind nämlich immer noch sehr zuverlässig und relativ präzise. Das OSM trifft nur keine Aussage zum Nahrungsbestand in einem Gebiet.

Ansonsten lassen sich andere Daten bzw. Gebietstypen, die Einfluss bei der Wahl eines Ortes haben, jederzeit kurzfristig ins System einfügen. Das Einfügen würde sehr ähnlich oder sogar identisch wie mit den anderen Layern verlaufen. Auch lassen sich andere Parameter für den Vogel eingeben und man könnte demnach andere Vögel als Testspezies nutzen.

Insgesamt zeigt das System jetzt schon zufriedenstellende Ergebnisse und es könnte in Zukunft auf vielfältiger Weise verbessert werden. Das Anwenden eines agentenbasierten Simulationsmodell hat seine Vorteile, wie diese Arbeit zeigt. Ein Multiagentensystem ist förmlich für diesen Fall gemacht. Durch das Anwenden von Agenten lassen sich Vögel gleichzeitig darstellen und man bekommt relativ schnell eine Vielzahl von Ergebnissen. Forscher nicht nur im Bereich der Ornithologie, aber auch in anderen Bereichen der Tierwelt können von solchen Systemen in SDMs Nutzen ziehen. Der Stand der Technologie entwickelt sich stetig weiter und mit der Zeit werden auch mehr SDMs auftauchen, die verschiedensten Methoden anwenden. Es ist zu hoffen, dass diese Ansätze dazu beitragen werden, die Populationen von Wiedehopfen und andere Spezies zu schützen und zu erhalten. Es ist wichtig, dass weiterhin Forschung betrieben wird, um die Ursachen für den Rückgang von Wiedehopfen zu verstehen und effektive Schutzmaßnahmen zu entwickeln.

# Literaturverzeichnis

- [1] *AviFauna - Wiedehopf*. URL <https://www.avi-fauna.info/hopfvoegel/wiedehopf/>. – Accessed: 2023-02-18
- [2] *CSV, Comma Separated Values (RFC 4180)*. – URL <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000323.shtml>. – Accessed: 2023-07-02
- [3] *Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA)- Info*. URL <https://www.dda-web.de/dda/dachverband/info>. – Accessed: 2023-03-01
- [4] *eBird - Wiedehopf*. URL <https://ebird.org/species/hoopoe>. – Accessed: 2023-02-18
- [5] *ISO 19111:2019-Geographic information — Referencing by coordinates*. URL <https://www.iso.org/standard/74039.html>
- [6] *Meteostat - Wetterrückblick und Klimadaten*. URL <https://meteostat.net/de/>. – Accessed: 2023-05-28
- [7] *Multi-Agent Research & Simulation Group*. – URL <https://www.mars-group.org/>. – Accessed: 2023-03-01
- [8] *NABU - Der Wiedehopf - Steckbrief*. URL <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/voegel/portraets/wiedehopf/>. – Accessed: 2023-02-18
- [9] *NABU - Der Wiedehopf - Steckbrief Büttelborn*. URL <https://www.nabu-buettelborn.de/tiere/wiedehopf/>. – Accessed: 2023-02-18
- [10] *NABU- Vogel des Jahres 1976 - Der Wiedehopf*. URL <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/aktionen-und-projekte/vogel-des-jahres/1976-wiedehopf/index.html>. – Accessed: 2023-02-18

- [11] *NABU Aktivitäten - Wiedehopf- Zur Abwehr den Hintern hoch.* URL <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/schutzgebiete/aktivitaeten/30604.html>. – Accessed: 2023-02-18
- [12] *Naturpark jasmund.* URL <https://www.nationalpark-jasmund.de/wissen-verstehen/nationalpark-management/offenland>. – Accessed: 2023-05-26
- [13] *OpenStreetMap - Deutschland - FAQ.* URL <https://www.openstreetmap.de/faq/#was-ist-openstreetmap>
- [14] *OpenStreetMap - Map Features.* URL [https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Map\\_Features](https://wiki.openstreetmap.org/wiki/DE:Map_Features). – Accessed: 2023-02-12
- [15] *ornitho.de - Was ist ornitho.de / ornitho.lu?* URL [https://www.ornitho.de/index.php?m\\_id=1116&item=7](https://www.ornitho.de/index.php?m_id=1116&item=7). – Accessed: 2023-03-01
- [16] *QGIS - Das führende Open-Source-Desktop-GIS.* URL <https://www.qgis.org/de/site/about/index.html>. – Accessed: 2023-03-10
- [17] *QGIS Python Plugins Repository - SRTM-Downloader.* URL <https://plugins.qgis.org/plugins/SRTM-Downloader/>. – Accessed: 2023-06-01
- [18] *QuickOSM -Plugin.* URL <https://plugins.qgis.org/plugins/QuickOSM/>
- [19] *Unverwechselbar bunt - Der Wiedehopf im Porträt.* URL <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/aktionen-und-projekte/vogel-des-jahres/wahl-2022/31165.html/>. – Accessed: 2023-02-28
- [20] *Wikipedia - ABUBILLA (Upupa epops).* URL [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ABUBILLA\\_\(Upupa\\_epops\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ABUBILLA_(Upupa_epops).jpg). – Accessed: 2023-03-06
- [21] HOPKINS, Laurel M.: A comparison of remotely sensed environmental predictors for avian distributions. (Februar 2022)
- [22] KUŁAKOWSKA, K.A.: Using an individual-based model to select among alternative foraging strategies of woodpigeons: Data support a memory-based model with a flocking mechanism. (Oktober 2013)
- [23] SNOW, C. M.: *he Birds of the Western Palearctic. Concise Edition.* Oxford University Press, 1998. – ISBN 019854099X

- [24] STREHLOW, Harro: *Zootierhaltung: Vögel*. Europa Lehrmittel, 2021. – URL <https://www.europa-lehrmittel.de/Zootierhaltung-Voegel/57464-4>. – ISBN 978-3-8085-5916-1
- [25] WHYTOCK, Robin C.: Bird-community responses to habitat creation in a long-term, large-scale natural experiment. (Juni 2017)
- [26] WOOLDRIDGE, Michael: *An Introduction to MultiAgent Systems*. JohnWiley & Sons, 2002. – ISBN 978-0471496915

# A Anhang

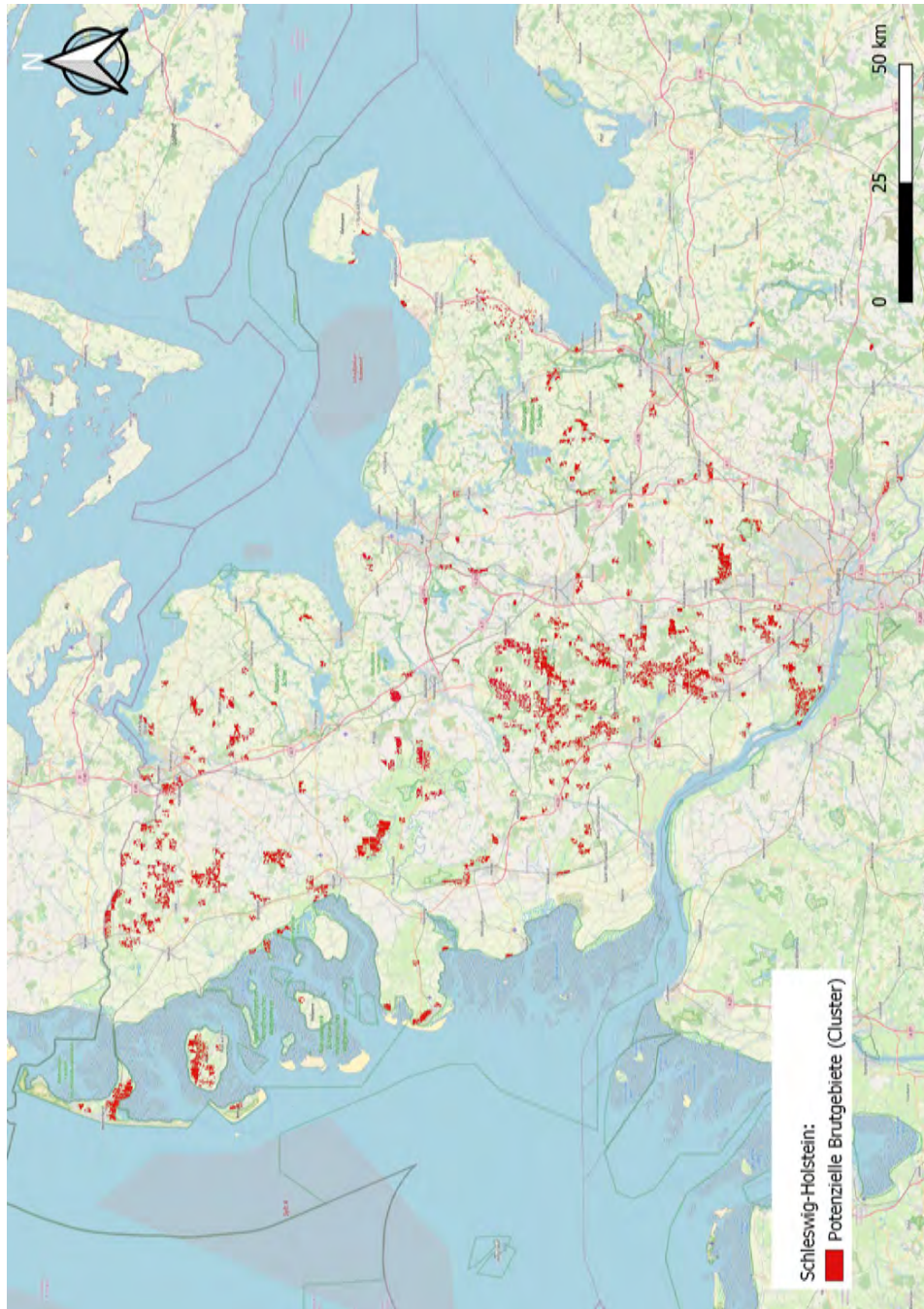


Abbildung A.1: Potenzielle Brutgebiete in Schleswig Holstein

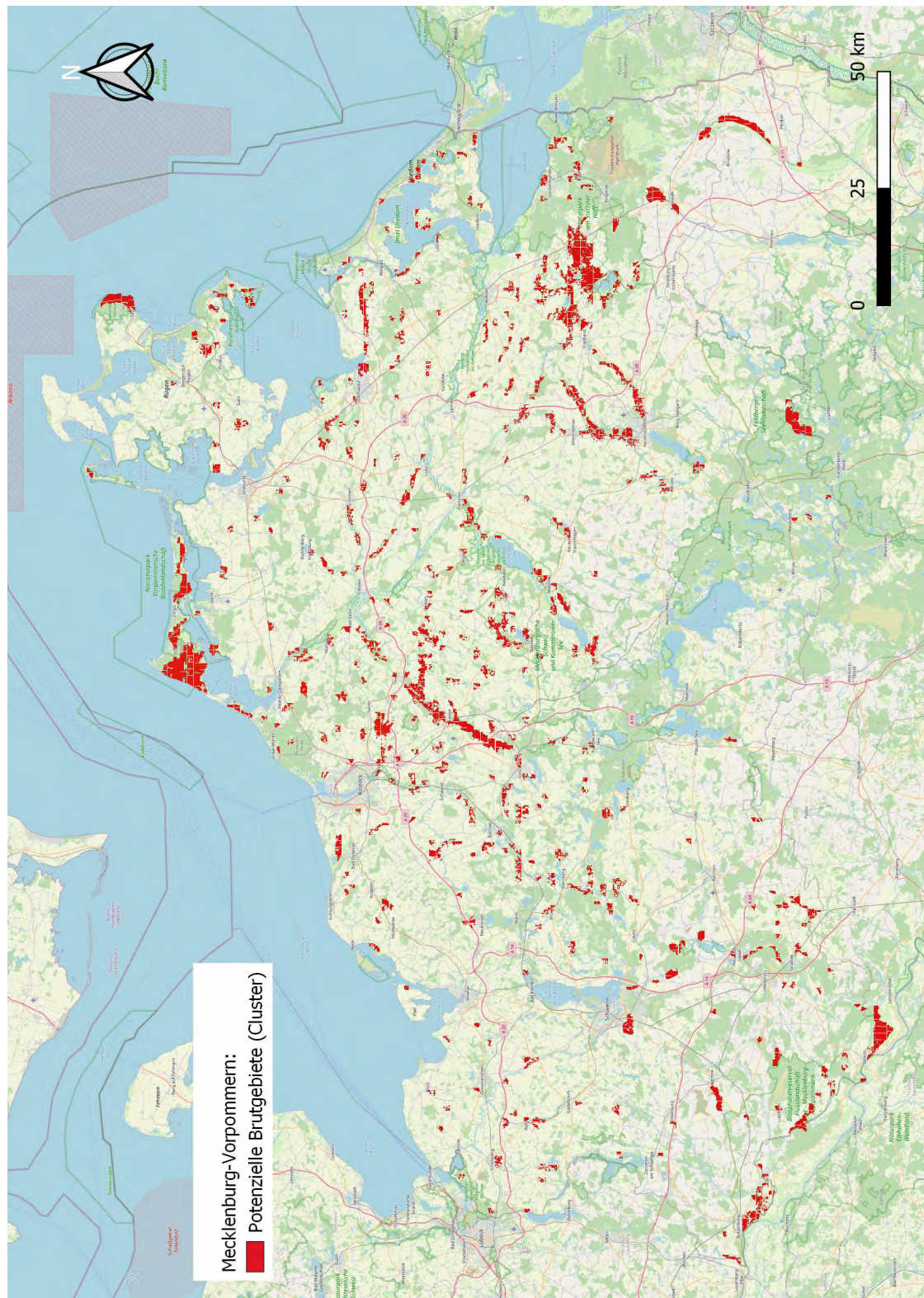


Abbildung A.2: Potenzielle Brutgebiete in Schleswig Holstein



# Glossar

**Geografisches Informationssystem** Ein System zur Bearbeitung und Visualisierung von geografischen Daten.

**HAW Hamburg** Die HAW Hamburg ist die vormalige Fachhochschule am Berliner Tor.

**Meteostat** Meteostat ist eine Webseite, welche offene Wetter- und Klimadaten anbietet.

**NABU** Der Naturschutzbund Deutschland e.V..

**Ornitho** Ornitho ist eine Webseite, die einen aktuellen Überblick über das vogelkundliche Geschehen in Deutschland und Luxemburg gibt, und dessen Rechtsträger der DDA ist.

**Plug-Ins** Optionale Software Komponente zur Erweiterung von Systemen.

**Web Map Service** Ein Web Map Service (WMS) ist eine Schnittstelle zum Abrufen von Auszügen aus Landkarten über das World Wide Web.

## **Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

---

Ort

Datum

Unterschrift im Original