

Masterarbeit GEO 511

Skalenabhängige Aggregation und Visualisierung von grossen heterogenen Bewegungsdatensätzen

- Mit ausgewählten Beispielen der Movebank -

Autorin: Franziska Appelt
10-769-180

Betreuung: Dr. Patrick Laube, UZH und ZHAW
Dr. Kamran Safi, Max-Planck-Institut für Ornithologie

Fakultätsvertreter: Prof. Dr. Robert Weibel, UZH

Eingereicht am 31. Januar 2014

Kontakt

Franziska Appelt
franzi.appelt@googlemail.com

Dr. Patrick Laube
Universität Zürich
Geographisches Institut
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Grüental, Postfach
CH-8820 Wädenswil

Dr. Kamran Safi
Max-Planck-Institut für Ornithologie
Abteilung Tierwanderungen und Immunökologie
Am Obstberg 1
D-78315 Radolfzell

Prof. Dr. Robert Weibel
Universität Zürich
Geographisches Institut
Abteilung Geographische Informationssysteme
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen lieben Menschen bedanken, die mich während meines Studiums in Berlin und Zürich begleitet haben.

Besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern, Dr. Patrick Laube (UZH und ZHAW) und Dr. Kamran Safi (Max-Planck-Institut für Ornithologie). Ich möchte mich bei Patrick Laube für die hilfreichen Inputs und aufschlussreichen Treffen bedanken und bei Kamran Safi für die Einblicke in die Erforschung von Tierbewegungsdaten sowie der Organisation aller Treffen am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Radolfzell, die für die Umsetzung meiner Benutzerstudie sehr wertvoll waren.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen beiden Korrekturlesern, Martina Köhli und Sebastian Zimmer bedanken, die mir nützliche Tipps für die Erstellung meiner Arbeit gegeben haben, sowie bei meiner Schwester, die meine englischen Texte gegengelesen hat.

Mein grösster Dank gilt meinen Eltern, die mich während meiner gesamten Studienzeit immer unterstützt haben.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erhebung von Bewegungsdaten mit modernsten Positionierungs- und Verfolgungstechnologien beinhaltet zunehmend komplexere Daten in Form von Punkten und Trajektorien, die eine Vielzahl an Zusatzinformationen speichern können. Diese bemerkenswerte Komplexität der Datensätze verlangt Methoden und Techniken für eine kompetente Analyse und Erforschung der Daten. Ferner sind auch entsprechende Datenbanken notwendig, die die Speicherung solcher Daten ermöglichen und unter Umständen die erfassten Informationen einem breiten Publikum zur Verfügung stellen können. Ein sehr gutes Beispiel ist die Internetplattform Movebank, die eine Vielfalt an Tierarten, die über den gesamten Globus verteilt sind, enthält. Ein umfassendes Interesse an der Erforschung von Bewegungsdaten verschiedener Tier- und Bewegungsarten sowie ein disziplinübergreifendes Verständnis von Methoden und Techniken ist dabei die Grundvoraussetzung, damit die Komplexität von Bewegungsdaten vollumfänglich untersucht werden kann. Des Weiteren sind für solche Analysen und Untersuchungen entsprechende räumliche, zeitliche als auch raumzeitliche Skalen von grossem Interesse. Das Zusammenspiel von Aggregationsmethoden, Visualisierungs-techniken und Skalen sind grundlegend und von grosser Bedeutung für die visuelle Erforschung am Bildschirm, wobei sie helfen, die Inhalte der entsprechenden Forschungsfragen in angemessener Form zu analysieren und darzustellen.

In dieser Arbeit wird anhand verschiedener Bewegungsarten und entsprechender Datensätze ein konzeptueller Entwurf einer multiskalaren Darstellung erarbeitet. Dazu wurden mögliche Methoden der Aggregation und Visualisierung ermittelt sowie real übertragbare Skalen evaluiert. Anschliessend wurde eine Anforderungsanalyse bei potentiellen Nutzern durchgeführt, mit dem Resultat, dass verschiedene Aggregationsmethoden sowie deren Kombination wichtig sind, um entsprechende Analysen und Vergleiche durchzuführen. Zentral und wichtig ist dabei die Bindung an den Kontext jeder Forschungsfrage sowie eine diesbezügliche Skalenabhängigkeit. Mit diesen Resultaten wurden ein konzeptueller Entwurf und ein simpler Prototyp einer multiskalaren Darstellung entwickelt, mit dem Fokus der Verknüpfung von Aggregationsmethoden und entsprechenden Skalen. In diesem Zusammenhang ist in einem weiteren Schritt eine Expertenevaluation umgesetzt worden. Hierbei beinhalten die Resultate sowohl methodenspezifische als auch skalenbezogene Aussagen. Dabei zeigte sich, dass es notwendig ist, dass solch grosse Bewegungsdatensätze für Analysen und Interpretationen entsprechend aufbereitet werden müssen. Dies gelingt nur, wenn die Aspekte der Anforderungsanalyse sowie geeignete Aggregationsmethoden mit den entsprechenden Visualisierungsmöglichkeiten und passenden Skalen berücksichtigt werden. Erst dann kann der konzeptuelle Entwurf einer multiskalaren Darstellung vollends umgesetzt und ein entsprechendes Ziel respektive die Beantwortung einer Forschungsfrage erreicht werden.

ABSTRACT

The collection of movement data with advanced positioning and tracking technologies increasingly involves complex data. This data in terms of points or trajectories can store a variety of additional information. Hence, this remarkable complexity of data requires methods and techniques for a competent analysis and exploration of it. Additionally corresponding data bases are necessary. These data bases should allow the storage of such sophisticated data sets and may provide the information that has been collected to a broad audience. A very good example for this is the internet platform Movebank. It contains a variety of animal species, which are scattered over the entire globe. A comprehensive interest in the exploration of various movement data of animals and different movement types as well as a cross-disciplinary understanding of methods and techniques are the basic requirements. These prerequisites then support the examination of the complexity movement data. Furthermore, corresponding spatial, temporal and spatio-temporal scales are of great interest for such analyses and investigations. The interaction of methods of aggregation, visualisation techniques and scale are fundamental and of great importance for the visual exploration of the data on the computer display. Thereby, they help to present and analyse the contents of the corresponding research questions in an appropriate form.

The aim of this master thesis is to develop a conceptual design of a multiscale representation based on different types of movement and corresponding data sets. For this purpose, possible methods of aggregation and visualisation were determined as well as real transferable scales have been evaluated. Following this, a requirements analysis was carried out at potential users. The results have highlighted that different methods of aggregation and their combination are important to perform appropriate analyses and comparisons. Central and important for this is the attachment to the context of each research question and a relevant scale dependence. Based on these results a conceptual design and a simple prototype of a multiscale representation were developed. The focus has always been on the combination of methods of aggregation and corresponding scales. With regard to this, the next step was to implement an evaluation of expert knowledge. The corresponding results include both method-specific and scale-related statements. Thereby, it was shown that there exists a necessity that such large movement data sets must be treated for analysis and interpretation accordingly. This is only possible if the aspects of the requirements analysis and appropriate methods of aggregation with the suitable visualisation capabilities and the matching scales are taken into account. Only then, the conceptual design of a multiscale representation can fully implemented and an appropriate objective respectively answering a research question can be achieved.

INHALT

DANKSAGUNG	I
ZUSAMMENFASSUNG	II
ABSTRACT.....	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	X
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XI
1 EINLEITUNG.....	1
1.1 Wissenschaftliche Motivation	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung	2
1.3 Forschungsfragen	3
1.4 Struktur der Arbeit	3
2 THEORETISCHER HINTERGRUND	5
2.1 Grundlagen Bewegungsdaten	5
2.1.1 Bewegungsarten	6
2.1.2 Aufnahmetechniken.....	7
2.2 Forschungsstand.....	10
2.2.1 Definition und Anwendung des Begriffs Skala.....	10
2.2.2 Charakteristiken der Aggregation	12
2.2.3 Positive und negative Effekte von Skala und Aggregation	13
2.2.4 Merkmale der Generalisierung und Clusteranalyse	15
2.2.5 Überblick über potentielle Aggregationsmethoden	17
2.2.6 Möglichkeiten visueller Darstellungen	26
2.3 Forschungslücken	28

3	MOVEBANK.....	31
3.1	Forschungskonzept Movebank	32
3.2	Struktur der Datensätze in Movebank	33
3.3	Beispieldatensätze.....	33
3.3.1	Truthahngeier	35
3.3.2	Fettschwalm.....	35
3.3.3	Fischerмарder	36
4	METHODIK.....	37
4.1	Anforderungsanalyse	37
4.1.1	Ergebnisse der literaturgestützten Anforderungsanalyse	38
4.1.2	Ergebnisse der nutzerbasierten Anforderungsanalyse.....	39
4.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	40
4.1.4	Anforderungen an Aggregations- und Visualisierungsmöglichkeiten	42
4.2	Konzeptueller Entwurf.....	43
4.2.1	Erstellung des Entscheidungsbaumes.....	43
5	ENTWICKLUNG EINES PROTOTYPS	47
5.1	Bearbeitung mit R.....	47
5.2	Bearbeitung mit ArcGIS	48
5.2.1	Zusatztool Geospatial Modelling Environment	49
6	NACHWEIS DER MACHBARKEIT	51
6.1	Umsetzung und Ergebnisse mit R.....	51
6.1.1	Auswertung: Probleme und Interpretation	58
6.2	Umsetzung und Ergebnisse mit ArcGIS	59
6.2.1	Auswertung: Probleme und Interpretation	66
6.3	Zusammenfassende Ergebnisse	67
7	EXPERTENEVALUATION	69
7.1	Umsetzung.....	69
7.2	Testdatensätze und Fragebogen	70
7.3	Ergebnisse der Evaluation	71
7.3.1	Allgemeine Aussagen	75
7.3.2	Methodenspezifische Aussagen	76
7.3.3	Skalenbezogene Aussagen	79
7.4	Verbindung zwischen Methodik, Prototyp und Evaluation	82

8	DISKUSSION	85
8.1	Forschungsfrage 1: Skalenabhängigkeit	85
8.2	Forschungsfrage 2: Aggregationsstufen	87
8.3	Forschungsfrage 3: Pro und Kontra	89
9	SCHLUSSFOLGERUNG	91
9.1	Zusammenfassung.....	91
9.2	Wissenschaftlicher Beitrag	92
9.3	Ausblick	92
	LITERATUR	95
	ANHANG A: R-CODE	101
	ANHANG B : FRAGEBOGEN EXPERTENEVALUATION	104
	ANHANG C: ENTSCHEIDUNGSBAUM	123
	PERSÖNLICHE ERKLÄRUNG	125

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Beispiele der unterschiedlichen Aufnahmetechniken.	9
Abb. 2: Darstellung in einem Raum-Zeit-System (nach LI, 2007: 7).	11
Abb. 3: Beispiele der räumlichen, zeitlichen und attributiven Aggregation.	12
Abb. 4: Exemplarische Darstellung der Berechnung des arithmetischen Mittels und des Medians (nach LI, 2007: 80).	17
Abb. 5: Schematische Darstellung einer konvexen Hülle.	18
Abb. 6: Drei verschiedene Methoden der Generalisierung von Linien (nach LI, 2007: 100-153).	20
Abb. 7: Bildliche Darstellung von KDE (links) und Line Density (rechts) (nach ESRI, 2013).	22
Abb. 8: Schematische Darstellung von Thiessen-Polygonen.	22
Abb. 9: Illustration des k-Means-Algorithmus mit der Bildung von 3 Clustern (nach LI, 2007: 77).	23
Abb. 10: Funktionsweise des DBSCAN-Algorithmus (nach ESTER et al., 1996: 228).	24
Abb. 11: Konzept des OPTICS-Algorithmus (nach ANKREST et al., 1999: 52-54).	25
Abb. 12: Die Tracking Data Map der Movebank-Homepage.	32
Abb. 13: Visuelle Darstellung des Datensatzes der Truthahngeier in Movebank mit reinen Punktdaten (links) und entsprechenden Trajektorien (rechts).	34
Abb. 14: Entscheidungsbaum mit entsprechenden Pfeilen für nützliche Methoden. Die rot gekennzeichneten Felder werden im anschliessenden Prototyp genutzt werden.	45
Abb. 15: Minimum Convex Polygon (MCP) des Pakets adehabitatHR (links) und Convex Hull des Pakets grDevices (rechts) für das Individuum 80397.	52
Abb. 16: Thiessen-Polygone für das Individuum Butterball mit der Gesamtmigration (links) und der detaillierten Betrachtung des Überwinterungsgebietes (rechts).	52
Abb. 17: Ergebnisse des Douglas-Peucker Algorithmus für das Individuum 80397.	53
Abb. 18: Resultate der KDE für die Gruppe der Fettschwalme in 2D (oben) und 3D (unten).	54
Abb. 19: k-Means-Algorithmus für die Gruppe der Fettschwalme mit der normalen Grafik (oben) und Beispielwerten wie der Clustergrösse und der Quadratsumme der Cluster (unten).	55
Abb. 20: Ergebnisse des DBSCAN-Algorithmus für das Individuum Domingo mit R-Code (oben) und entsprechenden Grafiken (unten).	56
Abb. 21: Berechnung verschiedener Mittelwerte eines Tages des Individuums 80397.	57
Abb. 22: MCP für das Individuum M3 mit den beiden Benutzeroberflächen.	60

Abb. 23: Thiessen-Polygone für das Individuum Domingo in der Gesamtdarstellung (links), mit dem Brutgebiet (Mitte) und einer weiter detaillierteren Ansicht (rechts).	61
Abb. 24: Resultate des Douglas-Peucker Algorithmus mit ArcGIS und GME für das Individuum 80397.	62
Abb. 25: Kernel Density Estimation (KDE) für die Gruppe der Fettschwalme mit den Oberflächen vom GME (links) und ArcGIS mit dem Werkzeug Kernel Density (oben rechts).	63
Abb. 26: Die Ergebnisse der Line Density in der Gesamtdarstellung (oben) und detaillierteren Ansichten ohne (unten links) und mit Bewegungslinie und Datenpunkten (unten rechts) für das Individuum M3.	64
Abb. 27: Berechnung des k-Means-Algorithmus im GME (oben links) mit der entsprechenden Ausgabetable als CSV-Datei (Mitte rechts) und der finalen Darstellung in ArcGIS 10.1 (unten) für die Gruppe der Fettschwalme.	65
Abb. 28: Übersicht der durch die Experten evaluierten Darstellungen (Fragenblock A). Auf der Makro- und Mesoskala werden ausschliesslich die berechnete KDE und auf der Mikroskala zusätzlich die Thiessen-Polygone dargestellt. Alle Abbildungen basieren auf den Berechnungen in ArcGIS.	72
Abb. 29: Übersicht der durch die Experten evaluierten Darstellungen (Fragenblock B). Die Ergebnisse für den Douglas-Peucker Algorithmus und k-Means sind für das Individuum S des Datensatzes der Migrationsbewegung und die Resultate der Line Density für das Individuum des Korridorverhaltens visualisiert worden. Die Abbildungen wurden in ArcGIS erstellt.	73
Abb. 30: Übersicht der durch die Experten evaluierten Darstellungen (Fragenblock C). Die Ergebnisse des DBSCAN- und des k-Means-Algorithmus sind für die Gruppe der Fettschwalme in R sowohl berechnet als auch visuell dargestellt worden. Diesbezüglich sind jeweils verschiedene Cluster deutlich erkennbar, wobei die Berechnungen auf verschiedenen Eingabeparametern beruhen (DBSCAN: MinPts und Eps; k-Means: k Cluster).	74
Abb. 31: Vergleich von zwei Bewegungsarten auf derselben räumlichen Skala.	76
Abb. 32: Ergebnisse der Bewertung der Skalen mit prozentualen Angaben.	81
Abb. 33: Modifikation des Entscheidungsbaumes. Der ursprüngliche konzeptuelle Entwurf (oben) und die Überarbeitung mit entsprechenden Korrekturen (unten).	83

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Zusammenfassung positiver und negativer Effekte von Skala, Skalenabhängigkeit und Aggregation.	14
Tab. 2: Elementare Generalisierungsoperationen (nach SLOCUM et al., 2010: 102).	15
Tab. 3: Computergestützte und visuelle Techniken für verschiedene Bewegungsmuster (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007: 136)	27
Tab. 4: Übersicht der Beispieldatensätze (Stand: Januar 2014).....	35
Tab. 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der literaturgestützten und nutzerbasierten Anforderungsanalyse.	41
Tab. 6: Vor- und Nachteile der wichtigsten Aggregationsmethoden.....	46
Tab. 7: Pakete in R mit den entsprechenden Funktionen.	48
Tab. 8: Werkzeuge in ArcGIS mit den jeweiligen Funktionen.	49
Tab. 9: Befehle und entsprechende Funktionen in GME	49
Tab. 10: Überblick der Umsetzbarkeit von Methoden bei entsprechenden Datensätzen (Grün = gut durchführbar, Gelb = eingeschränkt, Rot = nicht realisierbar).....	58
Tab. 11: Überblick der Durchführbarkeit der Methoden und Datensätze in ArcGIS und GME (Grün = gut durchführbar, Gelb = eingeschränkt, Rot = nicht realisierbar)	66
Tab. 12: Zusammenfassung der Methoden und Programme (M = Migration, N = Nahrungssuche, K = Korridor; Grün = gut durchführbar, Gelb = eingeschränkt, Rot = problematisch, Grau = nicht vorhanden).	68
Tab. 13: Übersicht der Anmerkungen zu den Aggregationsmethoden.....	78
Tab. 14: Übersicht der Anmerkungen zu den entsprechenden Skalen (M = Migration, N = Nahrungssuche, K = Korridor, S = Stopp).	80

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

chull	Convex Hull
DP	Douglas-Peucker Algorithmus
Eps	Epsilon
GIS	Geographische Informationssysteme
GME	Geospatial Modelling Environment
GPS	Global Positioning System
KDE	Kernel Density Estimation
LineDens	Line Density
MCP	Minimum Convex Polygon
MinPts	Minimum Number of Points
VHF	Very High Frequency

1 EINLEITUNG

Informationen von grossen heterogenen Bewegungsdatensätzen unterschiedlichster Organismen dienen meist dem Aufzeigen verschiedenster Umweltveränderungen, wie zum Beispiel etwaige Klima- und Landnutzungswandel, den Verlust an Biodiversität, die Verbreitung invasiver Spezies oder verschiedener Krankheiten (WIKELSKI & KAYS, 2013). Eine entsprechende skalenabhängige Aggregation verschiedener Bewegungsdatensätze kann somit mögliche Gemeinsamkeiten und/oder Unterschiede zwischen lokalen, regionalen und überregionalen Gebieten sowie entsprechende Trends aufzeigen. Eine Visualisierung aggregierter Datensätze hilft demzufolge, die Informationen sowie Entwicklungen in einem globalen Zusammenhang darzustellen.

1.1 Wissenschaftliche Motivation

Auf Grund modernster Positionierungs- und Verfolgungstechnologien können immer grössere Bewegungsdatensätze aufgenommen werden. Damit diese Daten sinnvoll genutzt und analysiert werden können, sind entsprechende Methoden und Werkzeuge zur Aggregation und Visualisierung zwingend notwendig.

Im besonderen Hinblick auf die Untersuchungen und Analysen der Physiologischen Ökologie und Tierbewegungen wird ersichtlich, dass Aggregations- und Visualisierungstechniken immer wichtiger werden, um grosse Datenmengen zu erforschen und darzustellen. Dabei sind jedoch verschiedene Skalen zu berücksichtigen, da jede Tier- und Bewegungsart von diversen individuellen Faktoren, wie zum Beispiel saisonale Wanderung, Nahrungssuche oder Gruppendynamik, und entsprechenden Umwelteinflüssen, wie beispielsweise Wintereinbruch, Hitze oder Windverhältnissen, abhängig sind.

Die Aggregation gehört dabei zu den bedeutendsten Methoden der Datenmanipulation und ist unvermeidlich für die visuelle Erforschung von grossen Datenmengen (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007). In dem interdisziplinären Forschungsfeld der Geographischen Informationssysteme (GIS) und der Bewegungsökologie, finden bereits unterschiedliche Aggregationsmethoden Anwendung. Allerdings beruhen diese meist auf einer einzigen Methode auf zuvor definierten räumlichen und zeitlichen oder sogar raumzeitlichen Skalen. Eine skalenabhängige Aggregation im Zusammenhang mit Tierbewegungsdaten bietet demnach die Möglichkeit die Analyse der Datensätze zu unterstützen, wodurch allenfalls neue Erkenntnisse gewonnen werden können. Diese skalenabhängige Aggregation findet in Zusammenarbeit mit der Internetplattform Movebank statt. Diese dient der Darstellung und Speicherung von Wanderbewegungen von Tieren sowie dem Verständnis, wie sich diese und deren Populationen innerhalb von lokalen Gebieten bewegen respektive wie sie entlang von Ozeanen und Kontinenten wandern und sich diese Bewegungen zeitlich verändern (FIEDLER & DAVIDSON, 2012).

Die Bewegung kann mittels unterschiedlicher Methoden und Konzepte analysiert und interpretiert werden. Welchen Einfluss die gewählte Skala und dementsprechend die verschiedenen Aggregationen haben, wird in dieser Arbeit diskutiert.

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Die Untersuchung räumlicher Phänomene ist stark von der gewählten Skala abhängig, wodurch ein Einfluss auf das Ergebnis jeder Analyse impliziert ist (LONGLEY *et al.*, 2011). Dies schliesst demzufolge entsprechende Analysetechniken sowie Aggregations- und Visualisierungsmethoden mit ein. Ob eine direkte Skalenabhängigkeit im Zusammenhang mit grossen heterogenen Bewegungsdatensätzen existiert, ist noch nicht untersucht worden. An diese Forschungslücke knüpft die vorliegende Arbeit an.

Es gibt drei grundlegende Ziele dieser Arbeit. Erstens sollen Bewegungscharakteristiken von Tierspezies ermittelt sowie eine Anforderungsanalyse anhand der Literatur sowie mit Hilfe einer Fokusgruppe durchgeführt werden. Zweitens soll ein konzeptueller Entwurf einer multiskalaren Darstellung verschiedener Skalen und Aggregationsmethoden erarbeitet und exemplarisch in einem Prototyp umgesetzt werden. Das dritte Ziel ist die Evaluation dieser Ergebnisse durch eine Expertengruppe, mittels derer die abschliessende Diskussion der Forschungsfragen eingeleitet werden soll.

Das erste Ziel ist, anhand passender Beispieldatensätze die Charakteristik einer Bewegungsart herauszuarbeiten. Parallel soll eine literaturgestützte und nutzerbasierte Anforderungsanalyse durchgeführt werden, damit mögliche Aggregationen evaluiert werden können. Diese Aggregationsmethoden sollen bei den entsprechenden Beispielen Anwendung finden. Die Idee dabei ist die Umsetzung des zweiten Zieles, indem mögliche Aggregationsstufen in Form eines Entscheidungsbaumes entwickelt werden sollen. Die Erforschung einer multiskalaren Darstellung mit entsprechenden Aggregationsstufen ist der Grundgedanke dieser Masterarbeit. Dabei soll jedoch keine voll funktionsfähige Implementation vorbereitet, sondern lediglich die Ideen des Entwurfs innerhalb eines Prototyps getestet werden. Das dritte Ziel ist eine abschliessende Expertenevaluation, die die aggregierten Ergebnisse anhand entsprechender Visualisierungen bewerten soll.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass ein konzeptueller Entwurf einer multiskalaren Darstellung entstehen soll, in der die Möglichkeit gegeben ist, anhand einer entsprechenden Bewegungsart und Skala eine passende Aggregationsmethode respektive Empfehlungen für mögliche Aggregationen vorzuschlagen. Ob dies realisierbar ist, sollen die gewonnenen Ergebnisse der Anforderungsanalyse, des Prototyps sowie der Evaluation zeigen und abschliessend diskutiert und bewertet werden.

1.3 Forschungsfragen

Basierend auf dem gegebenen Forschungsstand und -kontext sowie der Problemstellung, lassen sich entsprechende Forschungsfragen definieren, die im Verlauf der Arbeit diskutiert und ausführlich in Kapitel 7 besprochen werden. Ziel ist dabei keine Ja-Nein-Antwort zu finden, sondern differenzierte Aussagen bezüglich jeder einzelnen Forschungsfrage zu formulieren.

Die erste der drei Forschungsfragen ist allgemein und weit gefasst, wobei sie dennoch zentral in dem interdisziplinären Forschungsfeld von GIS und Ökologie ist.

(1) Haben die verschiedenen Skalen (räumlich, zeitlich, raumzeitlich) einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wahl der geeigneten Aggregations- und Visualisierungsmethoden in Verknüpfung mit der Untersuchung von Tierbewegungen?

Darauf aufbauend werden verschiedene Techniken im Zusammenhang mit den gewählten Skalen erarbeitet, anhand derer letztendlich geeignete Entscheidungen getroffen werden können. Demzufolge ergibt sich Forschungsfrage zwei:

(2) Wie können mögliche Aggregationsstufen in Form eines Entscheidungsbaumes im Zusammenhang mit der Analyse von Tierbewegungsdaten aussehen?

Anschliessend und auf Basis einer durchgeführten Expertenevaluation sollen entsprechende Erkenntnisse gewonnen werden, die in der dritten Forschungsfrage zusammenlaufen:

(3) Welche Vor- und Nachteile bietet eine skalenabhängige Aggregation?

Die drei Forschungsfragen bilden die Basis dieser Masterarbeit und sollen die wissenschaftliche Relevanz einer skalenabhängigen Aggregation und Visualisierung aufzeigen.

1.4 Struktur der Arbeit

Diese Arbeit umfasst insgesamt neun Kapitel. Nach diesem einleitenden Beitrag folgt Kapitel 2 mit dem theoretischen Hintergrund. Dabei werden hauptsächlich grundlegende Erläuterungen zu den Bewegungsdaten gegeben und in den entsprechenden Forschungsstand und -kontext mit den drei zentralen Begriffen Skala, Aggregation und Visualisierung eingeführt. Dies resultiert abschliessend in den Forschungslücken, die die Basis für die zuvor definierten Forschungsfragen sind. Kapitel 3 beinhaltet Informationen zu der Internetplattform Movebank und den drei Beispieldatensätzen, die für die vorliegende Masterarbeit verwendet wurden. In dem anschliessenden Kapitel 4 wird das methodische Vorgehen dargestellt, wobei die Anforderungsanalyse und der konzeptuelle Entwurf sehr entscheidend für das weitere Vorgehen sind. Kapitel 5 und Kapitel 6 zeigen die Entwicklung des Prototyps sowie die Bearbeitung der Daten mit entsprechenden Softwareprogrammen. Dabei diskutieren sie die Ergebnisse sowie mögliche Schwierigkeiten bei der Durchführung. Nach der Methodik und der Entwicklung des Prototyps folgt Kapitel 7 mit der Expertenevaluation. Diesbezüglich sind vor allem die herausgearbeiteten Ergebnisse von grosser Bedeutung, die die

Grundlage für Kapitel 8, die Diskussion der Forschungsfragen, bilden. Das abschliessende Kapitel 9 endet in einer Zusammenfassung sowie einem Ausblick für mögliche Weiterentwicklungen.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

Diese Arbeit kann in das interdisziplinäre Forschungsfeld von Geographischen Informationssystemen und Bewegungsökologie sowie zum Teil auch der Kartographie und Visualisierung eingeordnet werden. Diverse Methoden und Werkzeuge der Informationsverarbeitung helfen, die verschiedenen Bewegungsarten und Verhalten von Tieren zu analysieren, aggregieren, visualisieren und zu interpretieren. In den folgenden Unterkapiteln soll aufgezeigt werden, welche Bewegungsdaten vorkommen können, welche Techniken zur Aggregation und Visualisierung existieren und welche Forschungslücken in diesem Forschungsfeld bestehen. Die Möglichkeiten der Zusammenfassung von Daten und deren visuelle Darstellung werden stets vor dem Hintergrund eines Skalenbezugs betrachtet. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der räumlichen, zeitlichen sowie der raumzeitlichen Skala.

2.1 Grundlagen Bewegungsdaten

DODGE *et al.* (2008) definieren Bewegung als ein physikalisches Phänomen, welches eine Lageänderung beinhaltet. Wird der geographisch-dynamische Kontext betrachtet, bedeutet Bewegung hingegen eine Positionsänderung über die Zeit, wobei das zu beobachtende Objekt dieselbe Identität beibehält. Bewegungsdaten werden diesbezüglich meist als Trajektorien in Raum und Zeit erfasst. Das heisst, dass jedes Objekt als eine Serie geographischer Positionen einschliesslich entsprechender Zeitstempel erfasst wird, während sich das Objekt in der dreidimensionalen physischen Welt bewegt (DEMŠAR & VIRRANTAUŠ, 2010).

Des Weiteren beeinflussen eine Vielzahl verschiedenster Faktoren die Bewegungscharakteristiken und das Verhalten von Bewegungsobjekten (z. B. Personen, Tiere, Fahrzeuge etc.). ANDRIENKO & ANDRIENKO (2007: 122-123) geben eine kurze Auflistung der Einflussfaktoren: **Raumeigenschaften**, wie Besonderheiten des Geländes (Höhe, Gefälle, Exposition), Merkmale und Eigenschaften der Oberfläche (Land vs. Wasser, Wald vs. Felder), die entsprechende Landnutzung (Industrie, Landwirtschaft) sowie die Bedeutung eines Ortes für sich bewegende Entitäten, haben ebenso einen Einfluss wie **Zeiteigenschaften**. Diesbezüglich sind zeitliche Perioden (tägliche, jährliche Zyklen), physikalische Merkmale (z. B. Intensität und Dauer von Tageslicht) sowie die Bedeutung charakteristischer Aktivitäten (Tag vs. Nacht) ebenfalls wichtig. Neben diesen äusseren Faktoren sind auch die spezifischen Merkmale eines jeden Individuums ausschlaggebend. Dazu zählen **Eigenschaften und Tätigkeiten sich bewegnender Entitäten**, wie beispielsweise individuelle Merkmale (Alter, Geschlecht, Gesundheitszustand), Art der Bewegung (freie Bewegung auf der Strasse, zu Wasser oder in der Luft) sowie Zweck und Ursache der Bewegung, ebenso wie verschiedene **räumliche, zeitliche und raumzeitliche Phänomene**. Ferner zählen dazu allgemeine Klima- und Wetterverhältnisse, auftretende Events oder auch Verkehrsstörungen.

Bezogen auf Bewegungsdaten von Lebewesen gelingt das Erkennen solcher Einflussfaktoren durch entsprechende Aufnahmetechniken (Abschnitt 2.1.2) sowie der Analyse der Daten am Computer respektive vor Ort. Die Bewegung von Organismen, von Mikroben über Pflanzen bis zu Tieren, ist ein wesentliches Lebensmerkmal, angetrieben durch Prozesse, die über vielfache räumliche und zeitliche Skalen wirken. Dabei sind die Bewegungsarten innerhalb der Lebensformen sehr vielfältig, wobei sie sich unter anderem aktiv/passiv, lokal oder auf dem Weg zu neuen Gebieten bewegen (NATHAN *et al.*, 2008). Die Positionsaufzeichnung von Tieren bestimmt den elementaren Bestandteil von Bewegungspfaden und zeigt auf, wo Individuen mit den umliegenden Ökosystemen interagieren (CAGNACCI *et al.*, 2010). Dies ist wichtig, um die Bewegungen einheimischer sowie gebietsfremder Tierarten zu untersuchen (MABRY & PINTER-WOLLMANN, 2010), den möglichen Einfluss von globalen Veränderungen hinsichtlich des Klimas, der Landnutzung und der Habitats zu erforschen (MANDEL *et al.*, 2011) oder aber das Verhalten sowie die Intention der Bewegung selbst zu verstehen (NATHAN *et al.*, 2008).

2.1.1 Bewegungsarten

Es existieren diverse Bewegungsarten, die stets in enger Verbindung zur Tierart stehen. Dazu zählen neben der Nahrungssuche und den Brutgebieten auch die Ausbreitung und Migration von Tierarten sowie etwaige Zwischenstopps. Ferner werden auch das Korridorverhalten oder die sozialen Interaktionen zwischen einzelnen Tieren oder innerhalb einer Gruppe als Bewegungsart betrachtet respektive ist es ein Verhaltenskontext, in dem Bewegung stattfindet. Der Fokus dieser Arbeit wird auf die Migration mit entsprechenden Rastgebieten, die Nahrungssuche im Zusammenhang mit Brut-/Nistplätzen sowie dem Korridorverhalten gelegt.

Migration und Rastgebiete

Für einen Grossteil der Landvögel schliesst die Migration bei kleinen Vögeln lange nachtaktive Flüge ein. Grosse Vogelarten fliegen hingegen tagsüber und nutzen die Thermik. Gefolgt wird diese Bewegung von Zwischenaufhalten, zur Rast, bevor die Weiterreise in Richtung ihres endgültigen Bestimmungsorts angetreten wird (SEEWAGEN *et al.*, 2010). Während der Migration bewegen und navigieren die Tierarten in Abhängigkeit einer Vielzahl an externen, internen sowie zeitlichen Faktoren. Zu den externen Faktoren zählen zum Beispiel Windrichtung, Geschwindigkeit, Nahrungsangebot und das Verhalten anderer Individuen, zu den internen Faktoren gehören unter anderem die allgemeine physiologische Leistungsfähigkeit des Tieres, die unter anderem durch die Herzfrequenz sowie die generelle Funktionalität der Organe mitbestimmt wird. Die zeitlichen Faktoren beinhalten Angaben zu dem Verhalten und den äusseren Umständen beim Beginn der Migration respektive des Bewegungsvektors sowie dem geschätzten Verhalten aus früheren Migrationsbewegungen (MANDEL *et al.*, 2008 und 2011).

Das Migrationsverhalten von Vögeln ist aufgrund der Standorte, die durch grosse Distanzen getrennt und meist auf verschiedenen Kontinenten verteilt sind, wahrscheinlich das geographisch weitverbreitetste biologische Phänomen. Dabei ist die Orientierung grösstenteils genetisch bestimmt und schliesst häufig die Navigation um schwierig zu überfliegende Gebiete (z. B. Gebirgszüge) sowie das Auffinden geeigneter Habitats zum Stärken des Energiespeichers ein (DELMORE *et al.*, 2012).

Die Wahl der Rastgebiete ist stets situationsbedingt. Des Weiteren ist die Aufenthaltslänge ebenfalls von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig, zum Beispiel von der Entfernung zum Bestimmungsziel, der Jahreszeit, dem Raubrisiko oder dem Wetter (SEEWAGEN *et al.*, 2010). Als Rastgebiete gelten Standorte, in denen sich die Tiere ortsgebunden für mindestens zwei Tage aufhalten (DELMORE *et al.*, 2012).

Nahrungssuche und Brut-/Nistplätze

Theorien bezüglich der Nahrungssuche von Lebewesen beinhalten Entscheidungen bezogen auf den Ort der Nahrungssuche, wann diese stattfinden soll, welche Nahrungsmittelgruppen konsumiert werden einschliesslich wann die Nahrungssuche beendet ist und eine Rückkehr zum Brut-/Nistplatz erfolgt (OWEN-SMITH *et al.*, 2010). Der Brut- und Nistplatz der meisten Organismen befindet sich in den jeweiligen Lebensräumen und ist sehr wichtig für die Individuen, da sie dort unter anderem ihre Jungen aufziehen. Verschiedene Modelle nehmen an, dass Lebewesen auf Nahrungssuche gedächtnislos sind. Das bedeutet, dass jeder Schritt unabhängig von vorherigen Bewegungen gemacht wird und dass sie über kein Wissen von der unmittelbaren Umgebung ausserhalb ihres Revieres verfügen. Diese Annahmen sind jedoch umstritten, weshalb ein grosser Bedarf an der Erforschung von Organismen auf Nahrungssuche besteht (JAMES *et al.*, 2011).

Korridorverhalten

Allgemein werden Korridore als Verbindungen zwischen Revieren definiert (SQUIRES *et al.*, 2013). Diese sind folgendermassen zu unterscheiden: zum einen als funktionales Gebiet, welches von Tieren genutzt wird, um von einem Revier zum anderen zu gelangen, und zum anderen als strukturelles Gebiet, das zwei Reviere verbindet, die geeignete Habitate sind, und die durch ungeeignete Gebiete führen (CARO *et al.*, 2009).

Die Erforschung von Korridoren ist von grosser Bedeutung, da sie wichtige Grundlagen für den Naturschutz darstellen. Demzufolge soll den Tieren eine gesicherte Bewegung zwischen Habitatfragmenten erlaubt werden, damit die Landschaftsverbindungen aufrechterhalten und geschützt werden können (LAPPOINT *et al.*, 2013).

2.1.2 Aufnahmetechniken

Die Wahl der passenden Aufnahmetechnik ist in erster Linie abhängig von der Grösse, den Anschaffungs- und Instandhaltungskosten sowie dem Umfang und der Leichtigkeit der Datenerfassung. Das optimale Aufnahmegesetz ist dementsprechend leicht, so dass es sicher von Tieren getragen werden kann, günstig, so dass viele Tiere markiert werden können, und es besteht die Möglichkeit, hochauflösende Daten an Satelliten zu senden, so dass es nicht nötig ist, die Tiere erneut einzufangen. Bezüglich der Realität wählt jedoch der Wissenschaftler das beste verfügbare Aufnahmegesetz auf Grundlage der Grösse sowie der Bewegungsart des zu untersuchenden Tieres, des vorhandenen Budgets und der Forschungsfrage (WIKELSKI & KAYS, 2013).

Die meistgenutzten Aufnahmetechniken sind das GPS, der Argos Doppler, VHF-Funksender, Geolocator und die Individuelle Markierung (Abb. 1). All diese Markierungen werden von der

Internetplattform Movebank (Kapitel 3) unterstützt und WIKELSKI & KAYS (2013) beschreiben diese folgendermassen:

Global Positioning System (GPS)

Ein GPS-Sender berechnet die Tierposition in bestimmten Zeitintervallen, welche anhand mehrerer Satelliten geschätzt wird. Solche Sender können mehrere tausend, sehr präzise Positionsschätzungen für Tiere unterstützen. GPS-Sender sind jedoch im Vergleich zu anderen Techniken eher teuer und schwer, was dazu führt, dass sie meist nur an grösseren Tieren angebracht werden und ein entsprechendes Forschungsbudget vorhanden sein muss.

Argos Doppler

Argos Doppler, auch bekannt als *Platform Transmitter Terminals* (PTTs), senden periodische Signale an Argos-Transmitter an polumkreisende Satelliten. Weltweit verteilte Empfängerstationen sammeln diese Daten und senden sie an ein Rechenzentrum, wo die Positionsschätzungen durch Doppler-Effekt-Messungen hergestellt werden. Diese Positionsschätzungen sind meistens deutlich ungenauer als GPS-Positionen. Nachteilig sind auch hier der Preis sowie das Gewicht des Senders.

Very High Frequency (VHF) Funksender

VHF-Funksender übermitteln sehr hohe Radiofrequenzsignale, die genutzt werden, um die Position von Tieren zu bestimmen. Der Nutzer muss das Signal mittels eines Receivers und einer Richtfunkantenne verfolgen und sich dementsprechend innerhalb eines bestimmten Radius des zu untersuchenden Tieres aufhalten, um das Signal zu empfangen. Der Vorteil dieser Technik liegt im leichten Gewicht des Senders, den geringen Kosten in der Anschaffung sowie der langen Lebenszeit der Batterien.

Light-level Geolocator

Ein Geolocator misst Intensität des Sonnenlichts. Diese Information wird genutzt, um den Zeitpunkt des Sonnenauf- sowie des Sonnenuntergangs zu bestimmen, anhand derer die Tierbewegungen rekonstruiert werden können. Um jedoch an die Daten zu gelangen, muss das Tier abermals eingefangen werden, damit der Geolocator mit den aufgezeichneten Daten entfernt werden kann. Der Vorteil ist auch hier das leichte Gewicht und die geringen Kosten. Ein grosser Nachteil ist jedoch eine mögliche hohe Fehlerrate, die abhängig von der Jahreszeit sowie der Position der Tiere zur Sonne (Ortsbestimmung) ist.

Individuelle Markierung

Die individuelle Markierung ist im Gegensatz zu den anderen Aufnahmetechniken keine elektronische Kennzeichnung, sondern eine physische mit einem eindeutigen Code respektive einer eindeutigen Nummer, welche am Tier befestigt wird. Für die Aufzeichnung der Bewegung muss das Tier erneut eingefangen oder zumindest gesehen werden, damit die Positionsbestimmung mit der entsprechenden Nummer an eine entsprechende Zentrale gemeldet werden kann. Diese Technik wird am häufigsten bei Vögeln gebraucht. Der Vorteil dieser individuellen Markierung (z. B. die Beringung von Vögeln) ist eindeutig das sehr leichte Gewicht sowie die sehr geringen Kosten. Da allerdings kaum Tiere erneut eingefangen werden, ergibt sich nur ein geringer Anteil an Bewegungsdaten, da diese meist nur zwei Punkte pro Tier beinhalten.



Abb. 1: Beispiele der unterschiedlichen Aufnahmetechniken.

2.2 Forschungsstand

Die gegenwärtige Aufzeichnung und Sammlung von Bewegungsdatensätzen mit den zuvor erwähnten Markierungen führt zu einer Vielzahl an komplexen Trajektorien. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, zu jedem erfassten Datenpunkt zusätzliche Informationen, welche die Bewegung selbst (z. B. Bewegungsart, Fortbewegungsgeschwindigkeit, Herzfrequenz) oder aber die Umgebung (z. B. Windverhältnisse, Jahreszeit, Bodenbedeckung) kennzeichnen, zu vermerken. Dadurch wird die Komplexität des Ganzen zusätzlich erhöht. Die Analyse und visuelle Betrachtung eines solchen Bewegungsdatensatzes kann dadurch sehr schnell erschwert werden, beispielsweise aufgrund einer zu geringen Bildauflösung oder eines zu kleinen Arbeitsspeichers, wodurch die Darstellung der Trajektorien nicht optimal wiedergegeben werden kann. Demzufolge besteht eine Notwendigkeit, diese enormen Datenmengen so zusammenzufassen und so zu vereinfachen, dass der eigentliche Bewegungspfad erhalten bleibt und die Analyse und Interpretation der Tierbewegung nicht eingeschränkt wird.

Nach ANDRIENKO & ANDRIENKO (2011: 205) ist es dringend erforderlich Daten zu abstrahieren, wobei dies als Prozess des Weglassens bestimmter Details bezeichnet wird, bei dem jedoch die wesentlichen Merkmale erhalten bleiben. Diesbezüglich existieren verschiedenste Methoden in den Forschungsgebieten der Geographie, Kartographie sowie der Ökologie. Am passendsten erscheinen diesbezüglich Methoden der Aggregation, Generalisierung sowie der Clusterbildung (Abschnitt 2.2.5). Diese Methoden unterstützen dabei die visuelle Untersuchung am Computer (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2010). Des Weiteren ist anzumerken, dass bei der Erforschung des Verhaltens von Organismen Methoden verlangt werden, die es den WissenschaftlerInnen erlauben, den genauen Bewegungspfad über verschiedene Skalen hinweg zu erfassen. Das bedeutet, dass das Verständnis, wie Organismen auf unterschiedlichen Skalen in und mit ihrer Umgebung interagieren, eine grosse Herausforderung darstellt, wenn die Analyse und Interpretation nur anhand der Bewegungsinformation vorgenommen wird (FRITZ *et al.*, 2003).

Aufgrund dieser Anforderungen, riesige Bewegungsdatensätze zu aggregieren und zu vereinfachen und dabei die wichtigsten Informationen der Bewegung respektive des Verhalten zu bewahren, ist für alle beteiligten WissenschaftlerInnen eine Herausforderung.

2.2.1 Definition und Anwendung des Begriffs Skala

Nach LONGLEY *et al.* (2011) ist der Begriff *Skala* von grosser Bedeutung für das Forschungsgebiet der Geographischen Informationssysteme (GIS). Allerdings hat dieser Begriff im Laufe der Zeit viele Bedeutungen erworben, wobei einige auch widersprüchlich sind. Dementsprechend mussten eindeutigere Bezeichnungen gefunden werden.

Viele WissenschaftlerInnen nutzen den Begriff *Skala* im Sinne von räumlicher Auflösung oder als räumlichen Detaillierungsgrad der Daten. Des Weiteren nutzen sie ihn dazu, um über die geographische Ausdehnung respektive den geographischen Geltungsbereich eines Projektes zu diskutieren. KartographInnen hingegen beziehen den Begriff *Skala* auf den charakteristischen Massstab einer Karte (z.B. 1 : 50'000). Dies führt unglücklicherweise zu Verwechslungen und oft auch zu Verwirrungen, wenn ferner von grossen und kleinen Skalen/Massstäben gesprochen wird (LONGLEY *et al.*, 2011). Zudem wird *Skala* nicht nur im räumlichen Sinne verwendet, sondern ebenso

zeitlich respektive raumzeitlich. Die Zeit wird oft auch als vierte Dimension räumlicher Objekte bezeichnet (LONGLY *et al.*, 2011: 102).

Des Weiteren wird die Bedeutung der Skala meist als Konzept diskutiert und nicht als Zahl, die den Grad der Aggregation und Generalisierung kontrolliert. Verschiedene Autoren haben erkannt (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2010 und 2011; CHRISTENSEN, 2005; LONGLY *et al.*, 2011), dass die Skala von zentraler Wichtigkeit ist, da sie als Filter für den Informationsgehalt einer Karte wirken kann. Ferner ist die Skala ebenfalls bedeutend hinsichtlich der hoch diversifizierten Techniken sowie der Angebote für kartographische Verallgemeinerungen (CHRISTENSEN, 2005). Die Skalierbarkeit wird ein bedeutsames Thema bezüglich entsprechender Analysen von Raum-Zeit-Interaktionen sein und neue algorithmische Lösungen und Ansätze für die Datenverarbeitung fordern (KISILEVICH *et al.*, 2010). All dies ist vor allem im Zusammenhang mit ökologischen Problemstellungen sehr zentral. Die Skalenübergangstheorie (*Scale Transition Theory*) von CHESSON ist ein Ansatz zum Verständnis von Bevölkerungs- und Gemeinschaftsdynamiken jeglicher Organismen im Beisein von räumlichen und zeitlichen Änderungen der Umweltfaktoren oder entsprechenden Dichten. Demzufolge sind seiner Auffassung nach Populationen von Organismen sowohl räumlich als auch zeitlich miteinander verbunden und müssen auf entsprechenden Skalen betrachtet werden (CHESSON, 2012). Das Vorkommen und die Merkmale vieler geographischer, natürlicher und ökologischer Phänomene, wie Küstenlinien, Landschaftsveränderungen, Tierbewegungen oder Pflanzenwachstum, hängen von der Skala ab, auf welcher sie beobachtet werden. Dies wird auch als Skalenabhängigkeit bezeichnet (WORBOYS & DUCKHAM, 2004). Bei jeder feineren Auflösung der Skala (Vergrößerung des Ausschnitts oder Hereinzoomen in die Zeit) werden mehr und mehr Details sichtbar.

Die räumliche Darstellung wird als Aufzeichnung eines räumlichen Phänomens zu einer bestimmten Zeit und auf einer bestimmten Skala in einem Raum-Zeit-System bezeichnet (LI, 2007). Diese Definition wird in Abbildung 2 verdeutlicht. Das bedeutet, dass sich zum einen die Umgebung über die Zeit verändern kann oder sich zum anderen die Position eines sich bewegenden Objektes ändert. Der zweite Gesichtspunkt ist sehr interessant für die Erforschung von Tierbewegungen. Diesbezüglich ist aber auch die räumliche und zeitliche Skala abhängig von der Bewegungsart des zu beobachtenden Tieres sowie der gestellten Forschungsfrage. Alle drei Aspekte - Skala, Bewegungsart und Forschungsfrage - sind stets wichtig für die Analyse von Tierbewegungen.

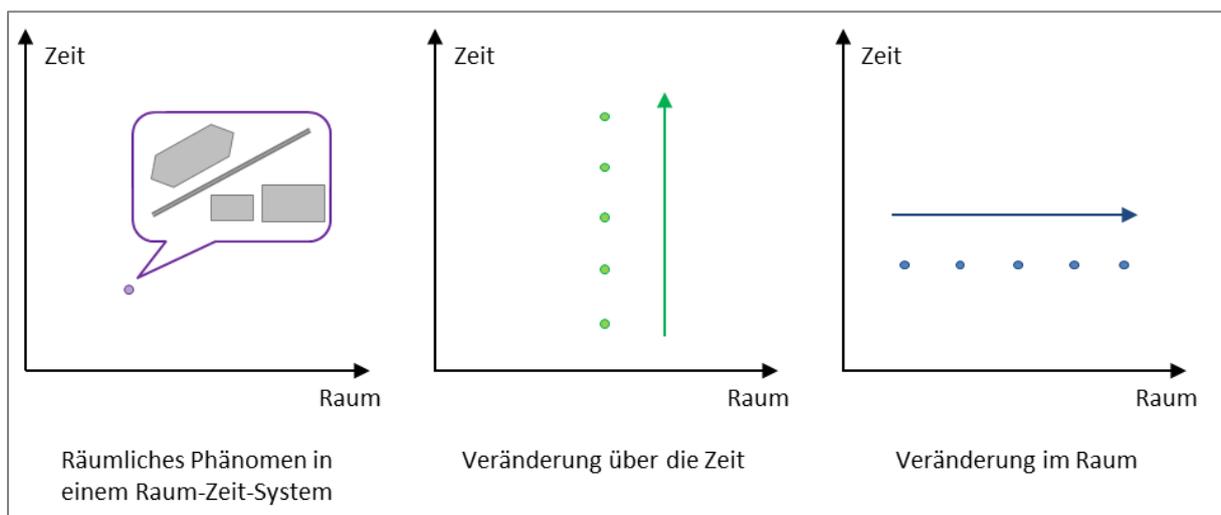


Abb. 2: Darstellung in einem Raum-Zeit-System (nach Li, 2007: 7).

Beispielsweise muss für die Untersuchung von Migrationsbewegungen die Skala in verschiedene räumliche und zeitliche Abschnitte zerlegt werden (MANDEL *et al.*, 2008). Demzufolge wird die Forschung auf der **Mikroskala** (Millimeter-Meter bzw. Sekunden-Minuten), der **Mesoskala** (einige Kilometer bzw. Stunden) und der **Makroskala** (Gesamtdarstellung bzw. längere Zeiteinheiten wie Tage, Monate oder Jahre) betrieben. Diese Einteilung der Skala ist in der vorliegenden Arbeit beibehalten worden und alle Berechnungen und Darstellungen wurden mit dieser Dreigliederung vorgenommen. Neben der Wichtigkeit der Skala ist auch die Aggregation von wesentlicher Bedeutung.

2.2.2 Charakteristiken der Aggregation

Für die visuelle Analyse von grossen heterogenen Bewegungsdatensätzen ist es notwendig, die Daten entsprechend zusammenzufassen und zu vereinfachen. Die Aggregation ist dabei eine der bedeutendsten Methoden der Datenmanipulation (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007). Im Wesentlichen setzt sich die Aggregation aus vier grundlegenden Aspekten zusammen. Zunächst kombiniert sie die Datenpunkte zu einzelnen Einheiten, reduziert dabei die Datengrösse und unterstützt ferner die Abstraktion und Generalisierung der Daten. Allerdings birgt die Aggregation auch einen gewissen Informationsverlust. Der Grad der Abstraktion und Generalisierung ist ebenso von grosser Bedeutung bei der Auswertung von Daten wie die Abhängigkeit von der gewählten Skala. Des Weiteren nehmen die WissenschaftlerInnen die Daten auf diversen Skalen unterschiedlich wahr respektive entdecken sie beispielsweise verschiedene Bewegungsmuster (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2010). Bezogen auf die Aggregation gibt es drei verschiedene Typen: die **räumliche**, die **zeitliche** und die **attributive Aggregation**. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Aggregationen sind bei der räumlichen und zeitlichen Datenaggregation numerische Werte, wie die Häufigkeit pro Rasterzelle oder die Anzahl von Bewegungen pro Tag, und bei der attributiven Datenaggregation eher subjektive Einteilungen, aber mit einem räumlichen und zeitlichen Bezug, wie zum Beispiel das Verhalten bei der Nahrungssuche (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2010). Abbildung 3 gibt eine kurze Übersicht über die drei Aggregationstypen.

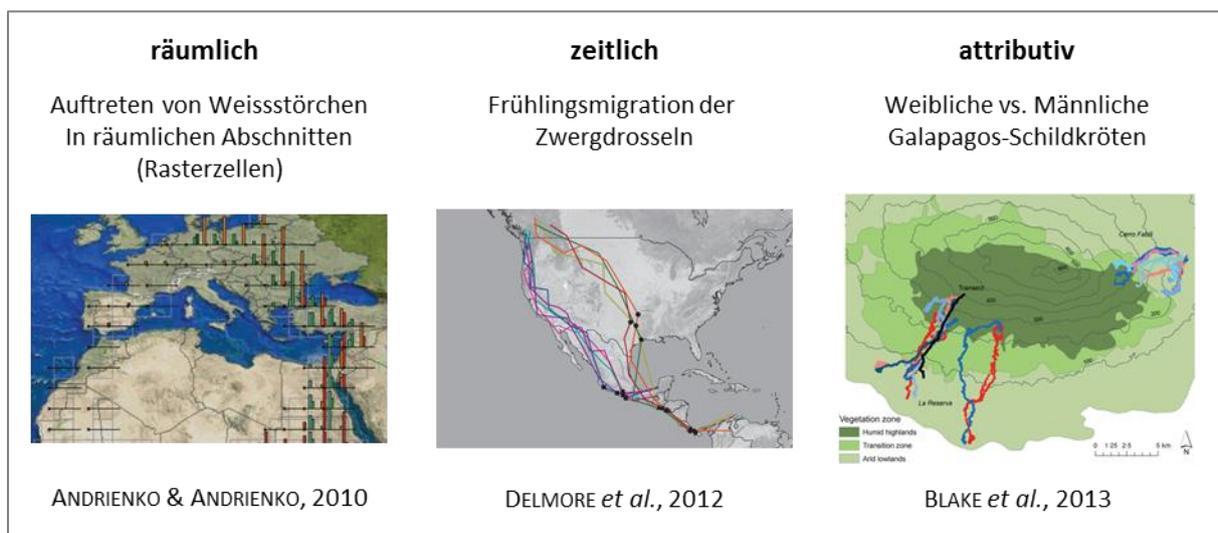


Abb. 3: Beispiele der räumlichen, zeitlichen und attributiven Aggregation.

Aggregationsmethoden sind demzufolge nützliche Werkzeuge für die Vereinfachung komplexer Systeme, mit denen Ökologen bei der Modellierung konfrontiert sind. Dabei erlaubt eine passende Aggregation eine verminderte Version eines komplexen Modells, welches für WissenschaftlerInnen eine ausreichende Annäherung an reale Systeme darstellt (AUGER & BRAVO DE LA PARRA, 2000). Die räumliche Datenaggregation ist weit verbreitet bei Umweltanalysen und Modellierungen in der Ökologie und Hydrologie, wobei diese meist das Spektrum von lokaler zu regionaler oder globaler Skala abdecken (BIAN & BUTLER, 1999). Das Ziel entsprechender Aggregationsmethoden ist es, ausschliesslich die charakteristischsten Punkte oder Segmente zu behalten und nur die unwichtigen Elemente zu entfernen. Der jeweilige Grad der Aggregation ist in erster Instanz stark durch die Forschenden selbst als auch durch die gewählten Parameter bestimmt (SHI *et al.*, 2011). Diesbezüglich ist anzumerken, dass die Aggregation in engem Zusammenhang zur Skala steht. Beispielsweise wird anhand bestimmter Verbreitungsmuster oder Lebensräumen von Tieren verschiedene räumliche Skalen definiert, bei denen vermutet wird, bestimmte Informationen zu erhalten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Daten entsprechend den evaluierten Skalen unterschiedlich aggregiert werden müssen (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007; DESROCHERS *et al.*, 2010).

Es ist festzuhalten, dass die Methoden der Datenaggregation die Datenmenge reduzieren, indem einzelne Datenpunkte in Teilmengen, so genannte Aggregate, gruppiert werden. Jene Aggregate und ihre Merkmale werden meist häufiger analysiert als die eigentlichen Daten, vor allem, wenn mit sehr grossen Datenmengen gearbeitet wird (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2006). Demzufolge wird Aggregation auch als übergeordneter Begriff für die allgemeine Zusammenfassung und Vereinfachung von Datenmengen verwendet.

2.2.3 Positive und negative Effekte von Skala und Aggregation

Die Skala und damit auch die Skalenabhängigkeit sowie entsprechende Aggregationsmethoden haben positive wie auch negative Auswirkungen.

Positive Effekte von Skala respektive Skalenabhängigkeit ist die Klassifizierung von räumlichen und zeitlichen Phänomenen. Dazu zählt unter anderem die Darstellung real existierender Objekte auf unterschiedlichen räumlichen Skalen. Dementsprechend ist beispielsweise New York City auf einer Weltkarte nur ein eindimensionaler Punkt, in einem regionalen Strassenatlas hingegen eine zweidimensionale Fläche (LONGLY *et al.*, 2011). Ferner können anhand zahlreicher unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Skalen detaillierte Informationen bezüglich der Nutzung von Lebensräumen sowie der entsprechenden Merkmale verschiedenster Organismen untersucht werden. Dadurch kann unter anderem eine kognitive Karte der zu erforschenden Organismen sowie ihrer Umgebung umfassend skizziert werden (CAGNACCI *et al.*, 2010). Negative Auswirkungen können zum Beispiel eine gewisse Abhängigkeit der gewählten räumlichen und zeitlichen Skala sein, die mit einer entsprechenden Auflösung und Detailgenauigkeit einhergeht, wodurch die Interpretation der Bewegungsmuster beeinflusst sein kann (DODGE *et al.*, 2008).

Der Einfluss der Skala sowie der Skalenabhängigkeit steht meist im Hintergrund jeder Forschungsfrage. Viele WissenschaftlerInnen nutzen die Skala, sei diese räumlich oder zeitlich, lediglich zur Einteilung des Forschungsgegenstandes in unterschiedliche Abschnitte. Räumlich gesehen betrifft dies meist unterschiedlich grosse Gebiete (Quadratmeter vs. Hektar), wohingegen die zeitliche Skala meist in verschiedene Zeitabschnitte (Minute vs. Stunde oder Tag vs. Jahr)

eingeteilt wird. Für sehr grosse heterogene Datenmengen ist jedoch ein Zusammenwirken von Skala respektive Skalenabhängigkeit und diversen Aggregationsmethoden sehr zentral. Beide Aspekte sowie drittens, die visuelle Darstellung des Forschungsgegenstandes, sind wesentliche Faktoren bei der Analyse, Berechnung und Beantwortung der entsprechenden Forschungsfragen. Die Aggregation hat ebenso wie die Skala und Skalenabhängigkeit positive wie negative Effekte.

Positive Effekte der Aggregation sind differenzierte Einblicke bezüglich der Habitatnutzung verschiedener Spezies durch eine räumliche und zeitliche Aggregation von Bewegungsdaten. Ferner ist dies nützlich bei der Untersuchung von Effekten, die eine unterschiedliche Ressourcenverteilung (z. B. saisonal Nahrungsverfügbarkeit) oder Landschaftsstrukturen (z. B. Korridore, Fragmentierung) bei der Habitatnutzung betreffen (BONNELL *et al.*, 2013). Des Weiteren dienen die verschiedenen Aggregationsmethoden dem Aufzeigen möglicher neuer Bewegungsmuster, eine Zusammenfassung mehrerer individueller Bewegungen zu einem Gesamtpfad (Sammelbewegung) und der Reduktion grosser Datenmengen, was schnellere Rechenzeiten bei nachfolgenden Berechnungen und Analysen impliziert. Auch können bestimmte Charakteristiken, Zeitperioden oder Verhaltensmuster des zu untersuchenden Forschungsgegenstandes gleichermassen gruppiert respektive getrennt werden (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007). Negative Auswirkungen bei der Aggregation sind vorwiegend ein gewisser Informationsverlust sowie das Mitnehmen eventueller Fehler bei der Vereinfachung (Anfangsfehler), die bei anschliessenden Analysen zu weiteren Fehlern respektive zu Fehlinterpretationen führen können (BIAN & BUTLER, 1999).

Eine kurze Zusammenfassung der möglichen Effekte von Skala und Aggregation ist in Tabelle 1 vorzufinden.

Tab. 1: Zusammenfassung positiver und negativer Effekte von Skala, Skalenabhängigkeit und Aggregation.

	positive Effekte	negative Effekte
Skala und Skalenabhängigkeit	<ul style="list-style-type: none"> – Klassifizierung räumlicher und zeitlicher Phänomene – Habitatnutzung und -merkmale – an Spezies angepasste Einteilung der Skalen 	<ul style="list-style-type: none"> – Abhängigkeit von räumlicher und zeitlicher Auflösung und Detailgenauigkeit
Aggregation	<ul style="list-style-type: none"> – Aufzeigen neuer Muster – Annäherung an reale Systeme – verschiedene Einblicke in Spezies bezüglich Lebensräume und Bewegung – Sammelbewegung – reduzierte Datenmengen und schnellere Rechenzeiten – Gruppierung und Trennung bestimmter Charakteristiken, Zeitperioden, Verhalten etc. 	<ul style="list-style-type: none"> – Informationsverlust – Anfangsfehler

2.2.4 Merkmale der Generalisierung und Clusteranalyse

Generalisierung

In Abhängigkeit von der räumlichen Skala ist die Generalisierung der Daten beinahe unumgänglich. Bezogen auf diese Vereinfachung der Daten sind vor allem Methoden der Kartographie wichtig. Die bedeutendsten Methoden nach SLOCUM *et al.* (2010) sind:

- (1) Vereinfachung - selektives Reduzieren der Anzahl an Datenpunkten,
- (2) Glättung - Reduzieren der Kantigkeit der Winkel,
- (3) Aggregation - Gruppierung von Datenpunkten zu Flächen,
- (4) Auseinanderbrechen - Trennung physischer Objekte und Ersetzung durch Symbole,
- (5) Verschmelzung - Gruppierung von linien- und flächenhaften Elementen,
- (6) Verfeinerung - Darstellung der charakteristischsten Merkmale,
- (7) Übertreibung - Verstärkung markanter Eigenschaften,
- (8) Erweiterung - deutlichere Hervorhebung der Aussage des Dateninhaltes und
- (9) Verdrängung - Abstandsänderung von Datenobjekten.

Die folgende Tabelle 2 zeigt diese wichtigsten räumlichen Operatoren mit entsprechenden Beispielen. Es ist anzumerken, dass nicht alle Generalisierungen bei der Analyse von Tierbewegungsdaten sinnvoll sind, wobei jedoch jede Methode angewendet werden könnte.

Tab. 2: Elementare Generalisierungsoperationen (nach SLOCUM *et al.*, 2010: 102).

Räumliche Operatoren	Original	Generalisierung
Vereinfachung (<i>Simplification</i>)	 15 Punkte	 10 Punkte
Glätten (<i>Smoothing</i>)		
Aggregation (<i>Aggregation</i>)	 Punkte	 Flächen

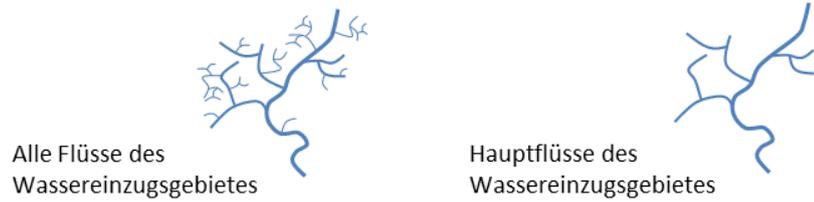
Auseinanderbrechen
(Collapse)



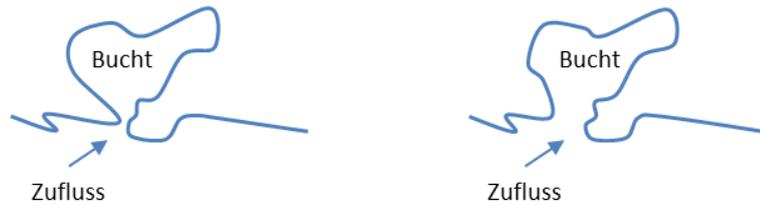
Verschmelzung
(Amalgamation & Merging)



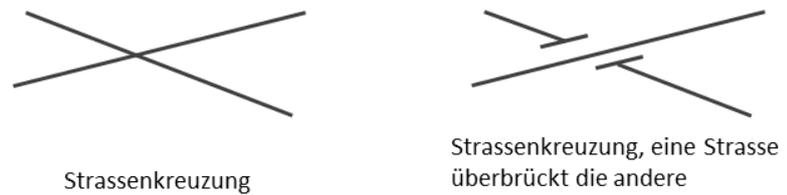
Verfeinerung
(Refinement)



Übertreibung
(Exaggeration)



Erweiterung
(Enhancement)



Verdrängung
(Displacement)



Clusteranalyse

Die Clusteranalyse hat bei der meist räumlichen Betrachtung der Daten als Ziel, entsprechende Merkmale zu gruppieren und dadurch das Mass der Streuung durch Bildung ähnlicher Einheiten (Cluster) zu minimieren. Dabei wird vorwiegend mit den Distanzen zwischen den Datenpunkten gerechnet (Li, 2007). Diesbezüglich ist die Frage nach der Verteilung respektive dem Vorkommen der meist punkthähnlichen Dateneigenschaften besonders wichtig. Hierbei ist vor allem die Analyse der Daten von grossem Interesse, wobei untersucht wird, ob diese ein willkürliches, ein geclustertes oder ein zerstreutes Muster zeigen. Ein willkürliches Muster zeigt beispielsweise Punktdaten, die unabhängig voneinander gelegen sind und wo alle Orte gleich ähnlich sind. Ein geclustertes Muster hingegen verdeutlicht, dass einige Orte ähnlicher sind als andere und dass bestimmte Punkte weitere Punkte in ihre Umgebung anziehen. Zuletzt zeigt ein zerstreutes Muster, dass bestimmte Punkte weniger Anziehungskraft zu ihrer Nachbarschaft besitzen als andere (LONGLEY *et al.*, 2011).

2.2.5 Überblick über potentielle Aggregationsmethoden

In der Literatur und im interdisziplinären Forschungsfeld von GIS und Ökologie existieren vielfältige Methoden der Datenanalyse. Die Auswertung und Modellierung von Bewegungsdaten basieren auf meist räumlichen Konzepten, die es den WissenschaftlerInnen erlauben, die Wichtigkeit dieser Konzepte im Zusammenhang mit der Umgebung des Forschungsprojektes zu untersuchen (LONGLEY *et al.*, 2011). Diese räumlichen Konzepte erfassen ebenfalls die Bedeutung des Zeitverständnisses als auch des Skalenbegriffs. Die Vielzahl an Methoden kann in dieser Arbeit nicht vollumfänglich dargestellt werden. Aus diesem Grund werden nur die wesentlichen Analysemethoden beibehalten, wobei auch hier die Einteilung nach Aggregation, Generalisierung und Clusteranalyse erfolgt.

Aggregation

Das **arithmetische Mittel (*Mean*)** als auch der **Median** werden als so genannte Zentralitätsmasse bezeichnet. Dabei stellt sich meist die Frage, welcher der gegebenen Punkte am repräsentativsten für den Datensatz respektive für eine Teilmenge der Daten ist. Das arithmetische Mittel ist ein Durchschnittswert aller Datenpunkte, beispielsweise der X- und Y-Koordinaten. Der Median hingegen ist jener Wert, der zum Beispiel einen zweidimensionalen Raum in X- und Y-Richtung jeweils zweiteilt, so dass die gleiche Anzahl an Punkten in jedem Viertel vorhanden ist (Abb. 4) (Li, 2007).

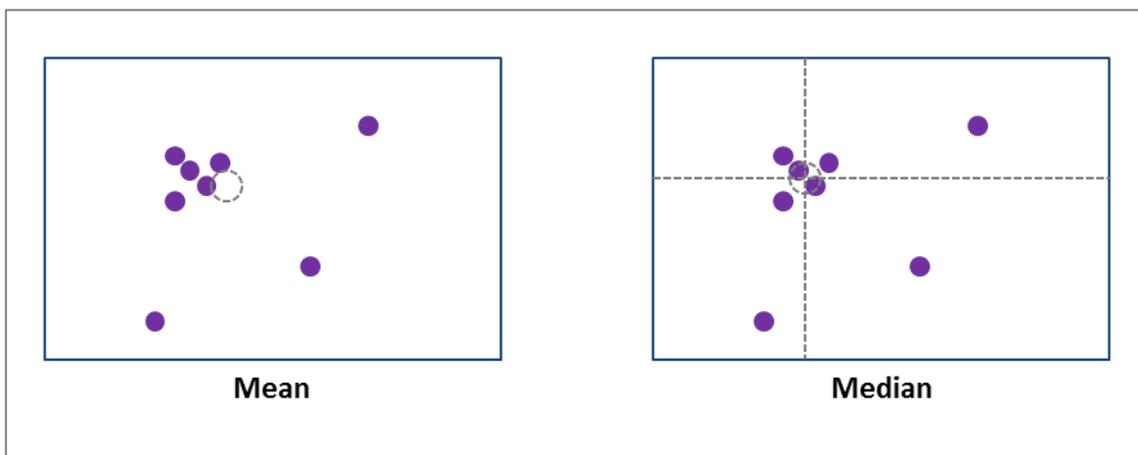


Abb. 4: Exemplarische Darstellung der Berechnung des arithmetischen Mittels und des Medians (nach Li, 2007: 80).

Das arithmetische Mittel sowie der Median werden, bezogen auf Bewegungsdatensätze, hauptsächlich genutzt, um beispielsweise eine entsprechende Positionsbestimmung mehrerer Individuen zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort vorzunehmen. Ist das Aufnahmegerät so eingestellt, dass jede Minute eine Aufzeichnung stattfindet, so ist es sinnvoll, nicht jeden Punkt pro Minute darzustellen, sondern vielmehr einen Punkt pro Stunde oder Tag pro Tier oder sogar pro Gruppe. Dies ist jedoch auch davon abhängig wie gross der Datensatz ist und in welchem Gebiet die Bewegung vorkommt. Meist wird sowohl das arithmetische Mittel als auch der Median berechnet, da zum einen der Durchschnitt und zum anderen der Zentralwert des gesamten Datensatzes wichtig für die weiteren Untersuchungen sein können. Der Median ist im Vergleich zum arithmetischen Mittel allerdings robuster gegen Ausreisser und entspricht immer einer tatsächlich vorkommenden Merkmalsausprägung. Des Weiteren ist der Median auch bei ordinalen Merkmalen anwendbar (STORRER, 2010).

Generalisierung

Für die Generalisierung flächenhafter Elemente respektive die Zusammenfassung aller Datenpunkte eignet sich die **konvexe Hülle**, die auch als kleinstes konvexes Polygon (**Minimum Convex Polygon** (MCP)) bezeichnet wird. Die konvexe Hülle ist dementsprechend ein kantiges Polygon, das das kleinste Gebiet einschliesst aller Datenelemente darstellt respektive die äussersten Punkte des Datensatzes umschliesst (Abb. 5) (MABRY & PINTER-WOLLMANN, 2010).

Für eine erste grobe Berechnung des Lebensraumes eines Individuums oder einer Gruppe ist diese Methode gut geeignet, da sie die entsprechende Grösse des Gebietes ermitteln kann (MABRY & PINTER-WOLLMANN, 2010). Dies ist vor allem bei der Analyse von Tierbewegungen wichtig, um einen ersten Einblick in deren Aktionsraum zu erhalten und mögliche Reviergrenzen zu erkennen. Für eine detaillierte Betrachtung des Lebensraumes, sind weitere Methoden effizienter.

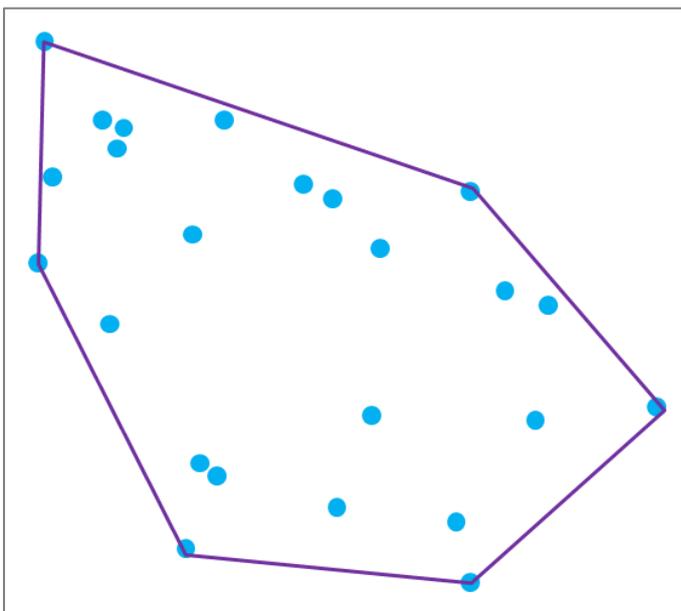


Abb. 5: Schematische Darstellung einer konvexen Hülle.

Die Vereinfachung von linienhaften Elementen beinhaltet meist eine Reduktion der Punkte, aus denen Linienobjekte gebildet werden. Algorithmen, die auf Punktreduktion basieren, versuchen eine bestmögliche Annäherung an die Originallinie mit einer minimalen Anzahl an Punkten zu erreichen. Die drei wichtigsten Algorithmen sind der Douglas-Peucker, der Visvalingham-Whyatt und der Li-Openshaw Algorithmus.

Der **Douglas-Peucker Algorithmus** ist ein typisches Beispiel einer kontinuierlichen Teilung der Linie, basierend auf lotrechten Distanzen. Dabei werden der erste und letzte Punkt einer Linie durch

eine Sehne verbunden, wobei Lote auf diese Sehne berechnet und mit einem zuvor definierten Toleranzwert verglichen werden. Derjenige Punkt, der die Toleranz am meisten überschreitet, wird ausgewählt und von diesem aus zu dem Start- und Endpunkt neue Sehnen gezogen (Abb. 6.1). Dieser

Algorithmus läuft so lange, bis keine Punkte mehr den Toleranzwert überschreiten (LI, 2007). Des Weiteren verarbeitet dieser globale Algorithmus die Linie ganzheitlich, das heisst, ohne sie zuvor in Segmente zu teilen. Schwierig ist dabei die Festlegung des zuvor erwähnten Toleranzwertes, der individuell bestimmt wird, wodurch erst nach einigen Versuchen die optimale Generalisierung der Linie gefunden wird (SLOCUM *et al.*, 2010). Ferner existiert die Möglichkeit, die Linie vor der Generalisierung zu segmentieren und somit den Douglas-Peucker Algorithmus auf den entsprechenden Linienabschnitten durchzuführen. Dies hat den Vorteil, dass charakteristische Eigenschaften der Linie besser erhalten werden und geringere Positionsfehler bei der Generalisierung auftreten (PARK & YU, 2011).

Der **Visvalingham-Whyatt Algorithmus** basiert hingegen auf der Berechnung von effektiven Flächen. Der Grundgedanke hierbei ist die fortlaufende Eliminierung von Punkten mit zu kleinen wirksamen Gebieten (Abb. 6.2). Ähnlich wie bei dem Douglas-Peucker Algorithmus werden hier stets die Punkte entfernt, die das Kriterium einer effektiven Flächengrösse nicht erfüllen (LI, 2007). Der **Li-Openshaw Algorithmus** ist ebenfalls eine Methode der Liniengeneralisierung, jedoch beruht dieser nicht auf der Einhaltung bestimmter Parameter, sondern auf einem Raster-Vektor-Verfahren. Dies bedeutet, dass der Prozess der Generalisierung mittels eines Rasters umgesetzt wird, aber die Visualisierung des Resultates in Vektordarstellung erfolgt. Dabei wird zunächst ein Raster auf das zu generalisierende Linienobjekt gelegt. Der erste Punkt, der erfasst wurde, ist der Startpunkt und der zweite Punkt befindet sich irgendwo innerhalb der zweiten Zelle. Hierbei werden die Mittelpunkte zwischen den Schnittpunkten zwischen den Rasterzellen und der Linie bestimmt (Abb. 6.3). Das Endergebnis der Generalisierung ist schliesslich eine vereinfachte Linie (LI, 2007).

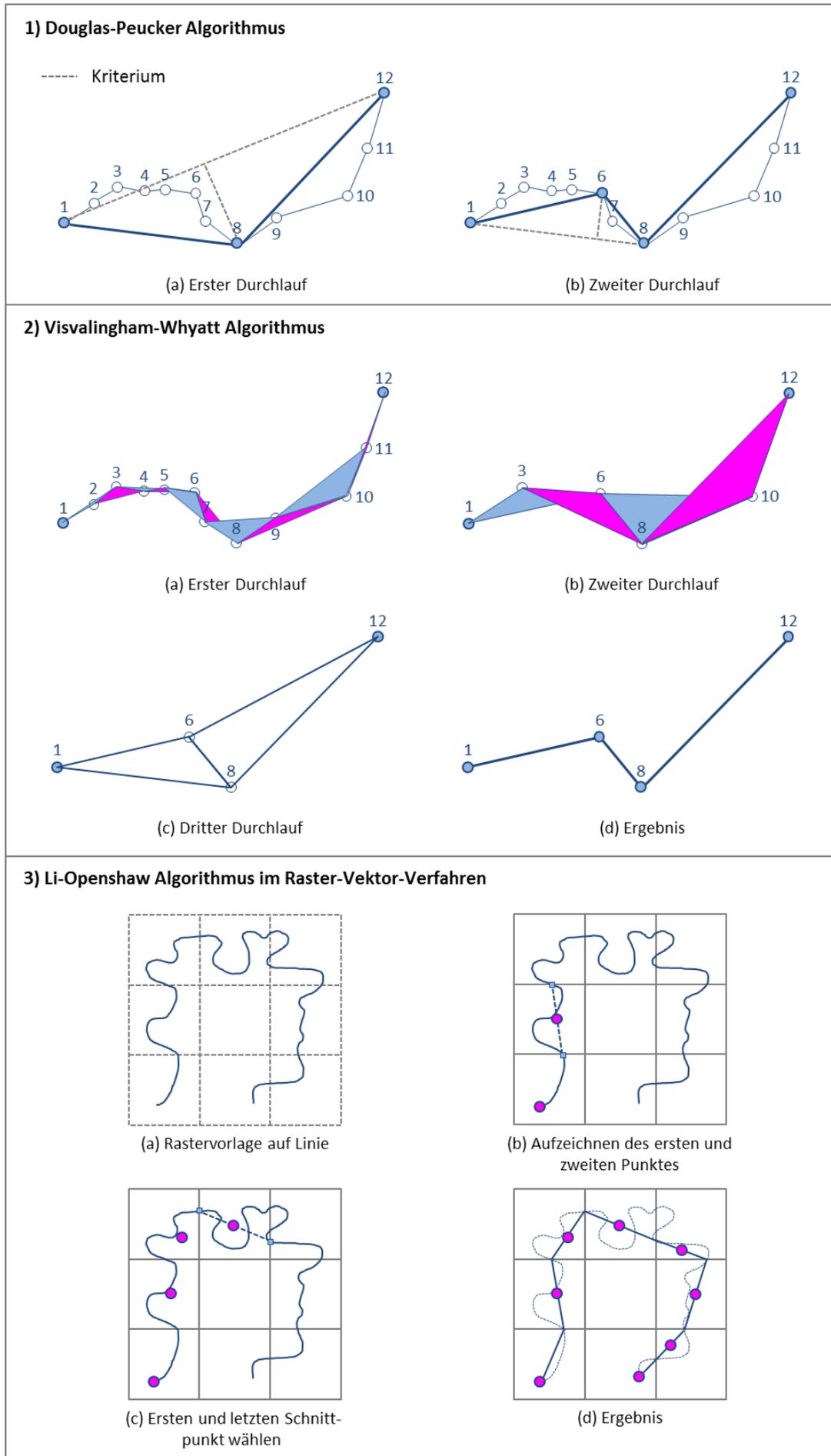


Abb. 6: Drei verschiedene Methoden der Generalisierung von Linien (nach Li, 2007: 100-153).

Clusteranalyse

Die Clusteranalyse ist ein notwendiger und sehr häufig angewendeter Arbeitsschritt in der Mustererkennung und dem Data-Mining. Dabei unterstützt sie eine Vielzahl an Aufgaben, bezogen auf die Qualitätsoptimierung in der Datenstruktur und der multimedialen Datennutzung. Das Ziel aller Clusteranalysen ist das Identifizieren natürlicher Gruppen, wobei die Objekte in demselben Cluster so ähnlich wie möglich und Objekte in unterschiedlichen Clustern möglichst verschieden sein sollen (FRIGUI *et al.*, 2007).

Eine der meistgenutzten Methode in der Geographischen Informationswissenschaft für die Analyse von Punkt- oder Linienobjekten ist die Kerndichteschätzung (**Kernel Density Estimation** (KDE)). Dabei wird zum Beispiel aus den Punktdaten eine kontinuierliche Oberfläche generiert, indem eine Funktion zur Abschätzung der Kerndichte angewendet wird (Abb. 7.1). Dieses Vorgehen eignet sich vor allem für die Identifizierung von Hotspots in grossen Punktdatensätzen. Des Weiteren wird KDE auch zur Charakterisierung von Bewegungsdaten gebraucht, insbesondere für die Untersuchung alltäglicher Lebensräume von Tieren. Ferner ist zu erwähnen, dass nur eine kreisförmige Nachbarschaft möglich ist und dass der gewählte Radius dabei den grössten Einfluss auf das Endergebnis hat (ESRI, 2013). Die KDE bietet ausserdem die Möglichkeit, die entsprechenden Aktionsräume nicht nur zweidimensional (Fläche ähnlich MCP), sondern auch dreidimensional (Datenpunkte zu Dichte) darzustellen. Dazu werden um die jeweiligen Gebiete Konturlinien gezogen und entsprechende „Spitzen“ mit einem höheren Vorkommen der Datenpunkte, ähnlich wie Berge, deutlich hervorgehoben (DOWNS & HORNER, 2012; MABRY & PINTER-WOLLMANN, 2010). Der einzige kritische Umstand ist die Bestimmung des Glättungsparameters, ähnlich wie beim Douglas-Peucker Algorithmus die Definition des Toleranzwertes. Dies ist jedoch die einzige Schwäche dieser Methode, die allerdings einen starken Einfluss auf die Analyse und Berechnung des entsprechenden Lebensraumes haben kann (MABRY & PINTER-WOLLMANN, 2010).

Eine weitere Methode, die ähnlich wie die KDE arbeitet, ist das Werkzeug **Line Density** aus der ArcToolbox (ArcGIS 10.1). Line Density berechnet die Dichte von linearen Objekten, die sich innerhalb der Nachbarschaft um die einzelnen Ausgabe-Raster-Zellen befinden (Abb. 7.2). Die Dichte wird in Längeneinheiten pro Flächeneinheit berechnet. Demzufolge wird ein Kreis mit einem entsprechenden Radius um jeden Raster-Zellenmittelpunkt gezeichnet. Dabei wird die Länge der Segmente jeder Linie, die sich innerhalb des Kreises befinden, mit seinem jeweiligen „Population field-Wert“ multipliziert. Anschliessend werden alle Werte eines Kreises addiert und durch die Fläche jenes Kreises dividiert (ESRI, 2013). Auch diese Methode ist zur Bestimmung von Lebens- und Aktionsräumen von Tieren geeignet. Hierbei werden keine Kernel-Berechnungen durchgeführt, sondern einfache Dichteberechnungen mit Linien respektive Liniensegmenten, die wie die KDE eine Konzentration der Datenwerte zeigen. Dabei wird ausschliesslich der Teil einer Linie berücksichtigt, der innerhalb der Nachbarschaft liegt, wobei grössere Werte des Radiusparameters zu generalisierten und kleine Werte zu detaillierten Dichterastern führen (ESRI, 2013). Analog der KDE können auch hier gewisse Hotspots respektive linienartiges Vorkommen (z. B. Tierkorridore) identifiziert werden. Die Definition des Suchradius ist der einzige Einflussparameter, ähnlich dem Glättungsparameter der KDE.

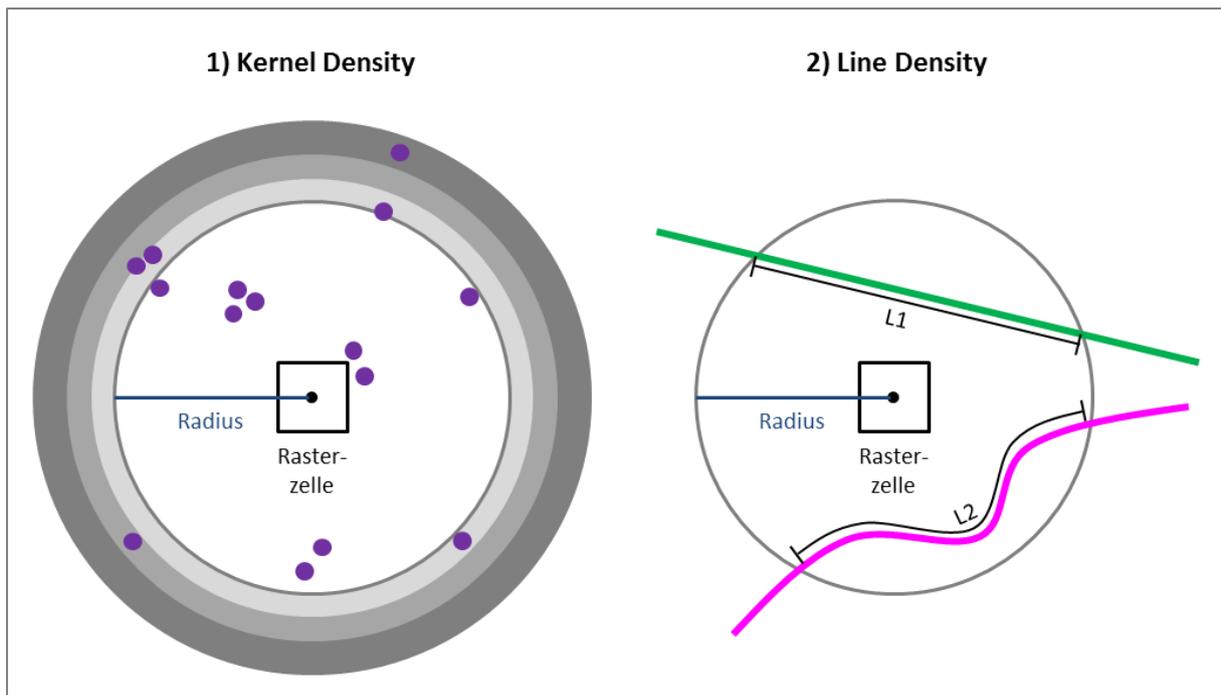


Abb. 7: Bildliche Darstellung von KDE (links) und Line Density (rechts) (nach ESRI, 2013).

Eine Methode aus der Ökologie, welche genutzt wird für die Analyse von Tierbewegungen sowie für die jeweiligen Lebensräume sind Brownsche Brücken (**Brownian Bridges**). Eine Brownsche Brücke ist ein kontinuierliches zeitstochastisches Bewegungsmodell, in der die Wahrscheinlichkeit sich in einem Gebiet aufzuhalten bedingt ist durch einen Start- und Endpunkt, die verstrichene Zeit zwischen diesen Punkten und die Beweglichkeit respektive die Bewegungsgeschwindigkeit. Dementsprechend dient diese Methode der Modellierung von zufälligen Entwicklungen in der Bewegung von Organismen, wobei zwei Zeitpunkte (Start- und Endpunkt) bekannt sind. Brownsche Brücken wurden

erstmalig 1999 von F. Bullard verwendet um Tierbewegungen zu beschreiben (HORNE *et al.*, 2007).

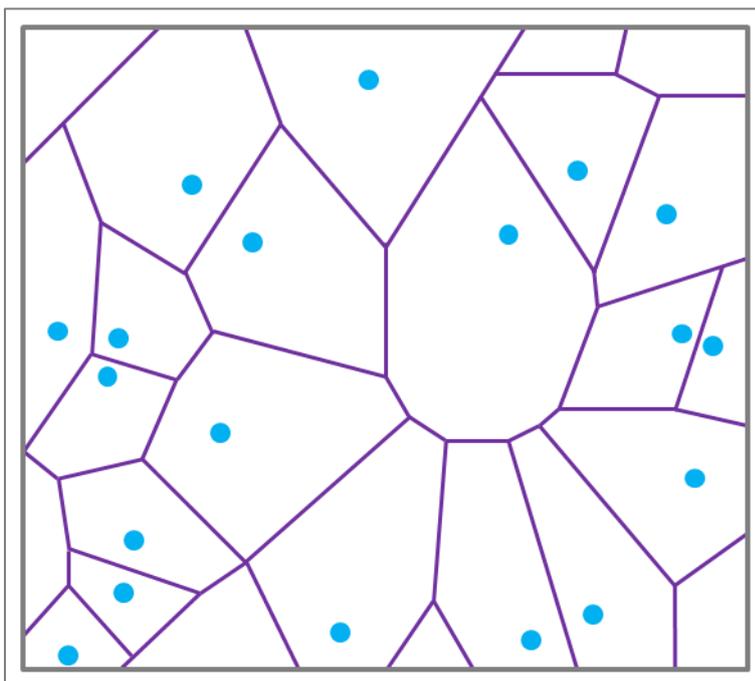


Abb. 8: Schematische Darstellung von Thiessen-Polygonen.

Die räumliche Interpolation, insbesondere von Punktdaten, ist ebenfalls eine weit verbreitete Methode in der Geographischen Informationswissenschaft. Diesbezüglich sind vor allem die distanzbasierten Ansätze von Interesse, speziell die **Thiessen-Polygone**, welche auch als Voronoi-Diagramm oder Dirichlet-Zerlegung bezeichnet werden (Abb. 8). Bezogen auf geometrische Operationen, werden sie genutzt, um eine Einteilung der Ebene in

Gebiete gleicher nächster Nachbarn vorzunehmen und entsprechende Berechnungen durchzuführen. Diese Voronoi-Nachbarn (*Voronoi neighbours*) haben den Vorteil, dass sie parameterfrei sind, sich an Skalen und Dichten anpassen, die Anzahl an Nachbarn nicht festgelegt und das Nachbarverhältnis zwischen zwei beliebigen Punkten symmetrisch ist (YAN & WEIBEL, 2008). Je kleiner die Polygone (Voronoi-Regionen) sind, desto dichter liegen die Punkte respektive die Voronoi-Nachbarn beieinander, wodurch auch hier entsprechende aktiv genutzte Lebensräume identifiziert werden können. Dennoch ist diese Methode stellenweise weniger geeignet, da die starke Veränderung der interpolierten Werte an den Polygongrenzen oft fragwürdig ist respektive starke Wertdifferenzen auftreten können (LONGLEY *et al.*, 2011).

Die Clusteranalyse lässt sich in zwei Grundarten untergliedern: das hierarchische Verfahren und das partitionierende Verfahren (ESTER *et al.*, 1996). Das partitionierende Clusterverfahren bestimmt eine Partitionierung der Objektmenge in k Cluster, wobei k ein Eingabeparameter dieses Algorithmus ist, der als bekannt vorausgesetzt oder aus den Daten geschätzt wird. Ein Beispiel hierfür ist der k -Means-Algorithmus. Das Ziel von **k -Means** (Abb. 9) ist es, n Datenpunkte in k Cluster zu gruppieren respektive zu partitionieren, wobei jeder Punkt einem Cluster zugeordnet wird, welches den nächstliegenden Mittelwert besitzt (SHI *et al.*, 2011).

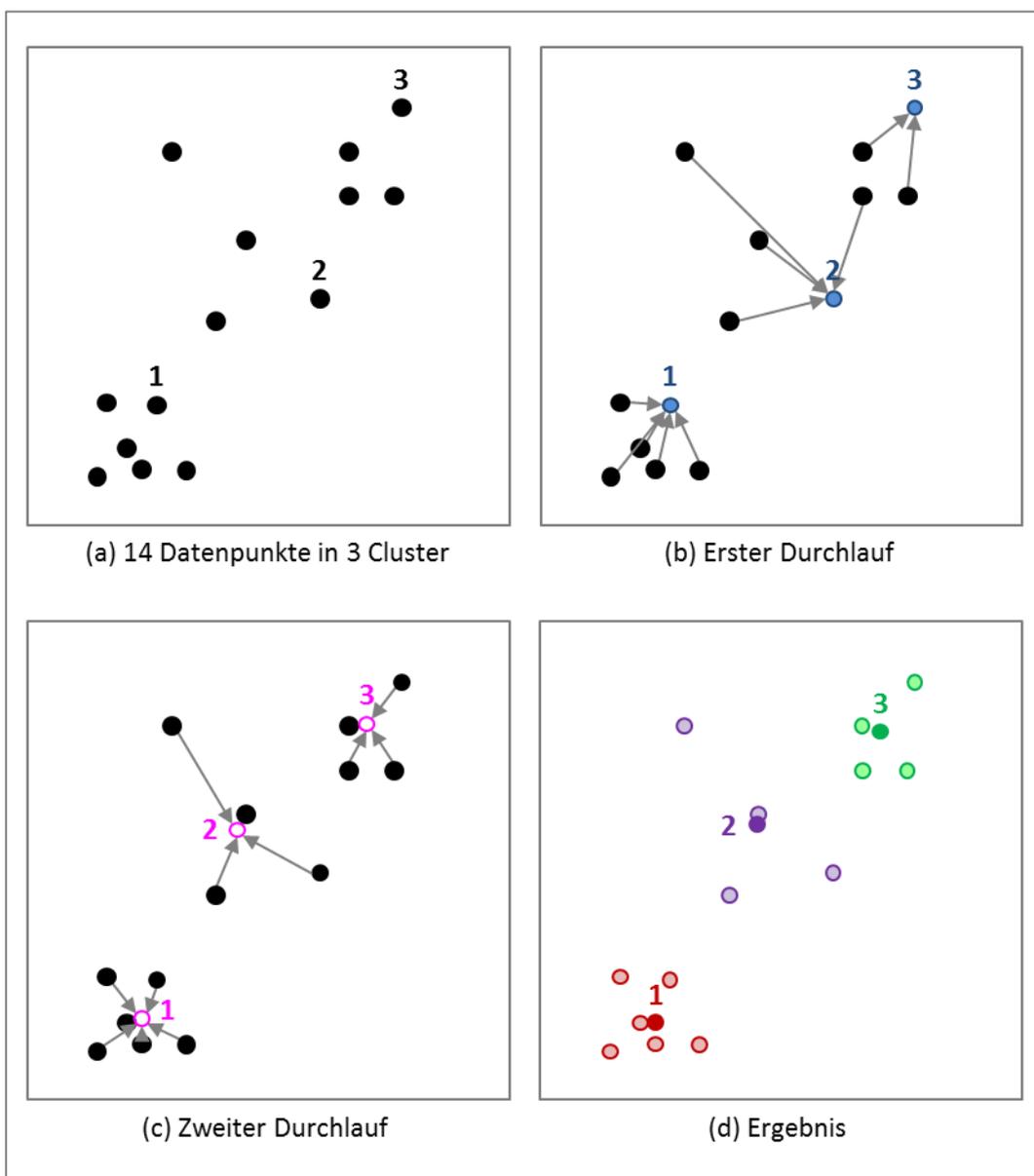


Abb. 9: Illustration des k -Means-Algorithmus mit der Bildung von 3 Clustern (nach Li, 2007: 77).

Der k -Means-Algorithmus ist ein so genannter unüberwachter Lernalgorithmus, der Datenpunkte in entsprechende Cluster einteilt. Dabei zeichnet er sich durch seine Robustheit aus, wobei er auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig funktioniert, zum Beispiel bei der Clusterbildung von grossen Datenmengen mit vielen verschiedenen Individuen. Aufgrund seiner Einfachheit und Flexibilität wird er in vielen statistischen Berechnungen verwendet, auch bei der Analyse von Tierbewegungsdaten (SCHWAGER *et al.*, 2007). Ein gewisser Nachteil dieser Methode ist die vorherige Definition einer bestimmten Clusteranzahl (k) sowie der Bestimmung entsprechender Startpunkte. Weiterhin berücksichtigt dieser Algorithmus Rauschen (*Noise*) und Ausreisser (KANUNGO *et al.*, 2002).

Das hierarchische Clusterverfahren hingegen basiert auf der hierarchischen Zerlegung eines Clusters D und wird durch ein Dendrogramm veranschaulicht. Dieses Dendrogramm ähnelt einem Baum, der D wiederholend in kleinere Untermengen teilt bis jede dieser Mengen nur noch aus einem Objekt besteht. Ein Beispiel hierfür ist der Algorithmus k -Nächste-Nachbarn (k *Nearest Neighbour* (k NN)). k NN ist eine parameterfreie multimodale Methode, die versucht, Dichtekerne zu finden, jedoch keine besondere parametrische Dichteverteilung aufruft. Stattdessen lokalisiert es k Punkte, die die kleinsten Nächsten-Nachbar-Distanzen besitzen, wobei k eine kleine aber willkürliche Anzahl an Punkten darstellt. Die k -Nächste-Nachbar-Distanz (k *nearest neighbour distance* (k NND)) wird für jeden Datenpunkt mittels der euklidischen Distanz zu jedem anderen Punkt berechnet. Da diese Distanzen klein sind, wo sich Punkte konzentrieren, und gross, wo sie weit auseinander liegen, weisen kleine Distanzen auf lokale Regionen mit hohen Dichten hin (STRAUSS, 2001).

Neben der partitionierenden (k -Means) und der hierarchischen (k NN) Clusteranalyse existiert ein dichtebasierter Data-Mining-Algorithmus, **DBSCAN** (**D**ensity-**B**ased **S**patial **C**lustering of **A**pplications with **N**oise). DBSCAN (Abb. 10) basiert auf der Grundidee, dass jedes Objekt in einem Cluster C eine Mindestanzahl an Nachbarn haben sollte, die sich innerhalb eines zuvor definierten Radius befinden (ESTER *et al.*, 1996). Dieser Algorithmus wurde entwickelt, um Cluster sowie Rauschen (*Noise*) zu erkennen. Die Dichte wird anhand einer bestimmten Anzahl an Punkten (*MinPts*) definiert, die sich innerhalb eines gewissen Radius (*Eps*) befinden. DBSCAN ist sehr effizient in der Erkennung von Clustern mit beliebigen Formen (ESTER *et al.*, 1996).

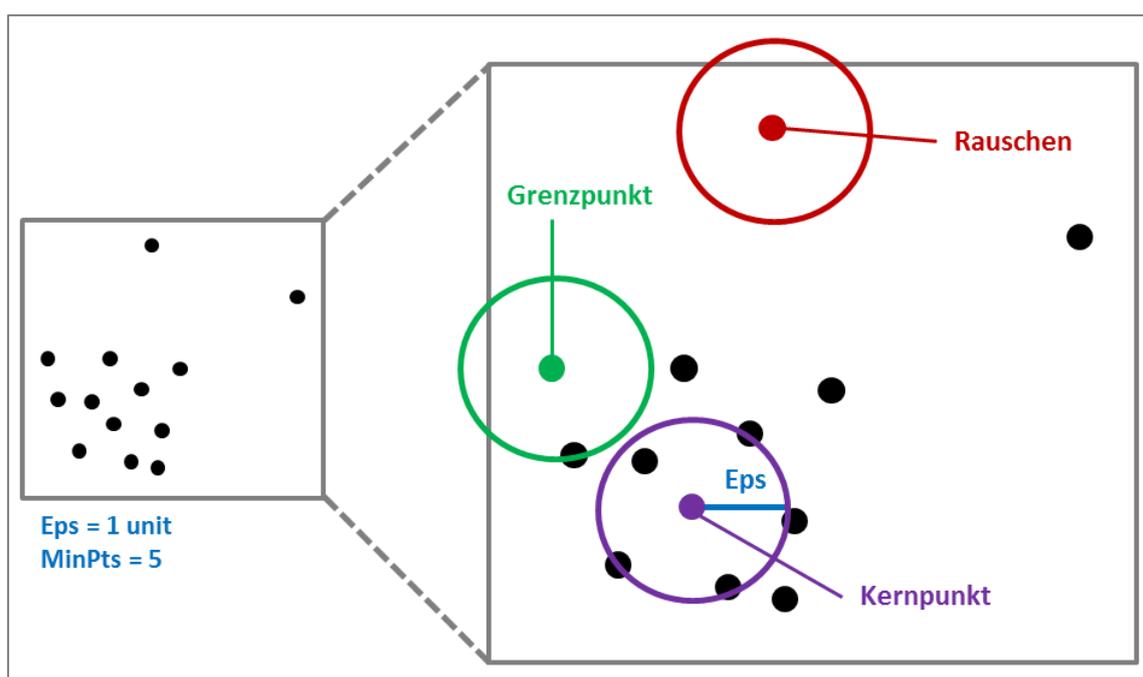


Abb. 10: Funktionsweise des DBSCAN-Algorithmus (nach ESTER *et al.*, 1996: 228).

Die Stärken dieses Algorithmus sind zum einen die Eliminierung des Rauschens und zum anderen die Anpassung der Clusterdichte. Ferner arbeitet der Algorithmus für kleinere Datenmengen (bis zu 5'000 Datenobjekte) sehr effektiv und ist einfach zu implementieren. Mit diesen Vorteilen geht allerdings eine Schwäche dieser Methode einher. Folglich müssen geeignete Werte für die Eingabeparameter *MinPts* und *Eps* gefunden respektive errechnet werden (ESTER *et al.*, 1996). Dennoch können mit dieser Methode beispielsweise ebenfalls Regionen mit bestimmten Aktivitäten von Tieren ermittelt werden. Der DBSCAN-Algorithmus ist somit praktisch orientiert, da, wenn noch keine klare Vorstellung der räumlichen Verteilung der Datenpunkte besteht, mit den Eingabeparametern herumexperimentiert werden kann.

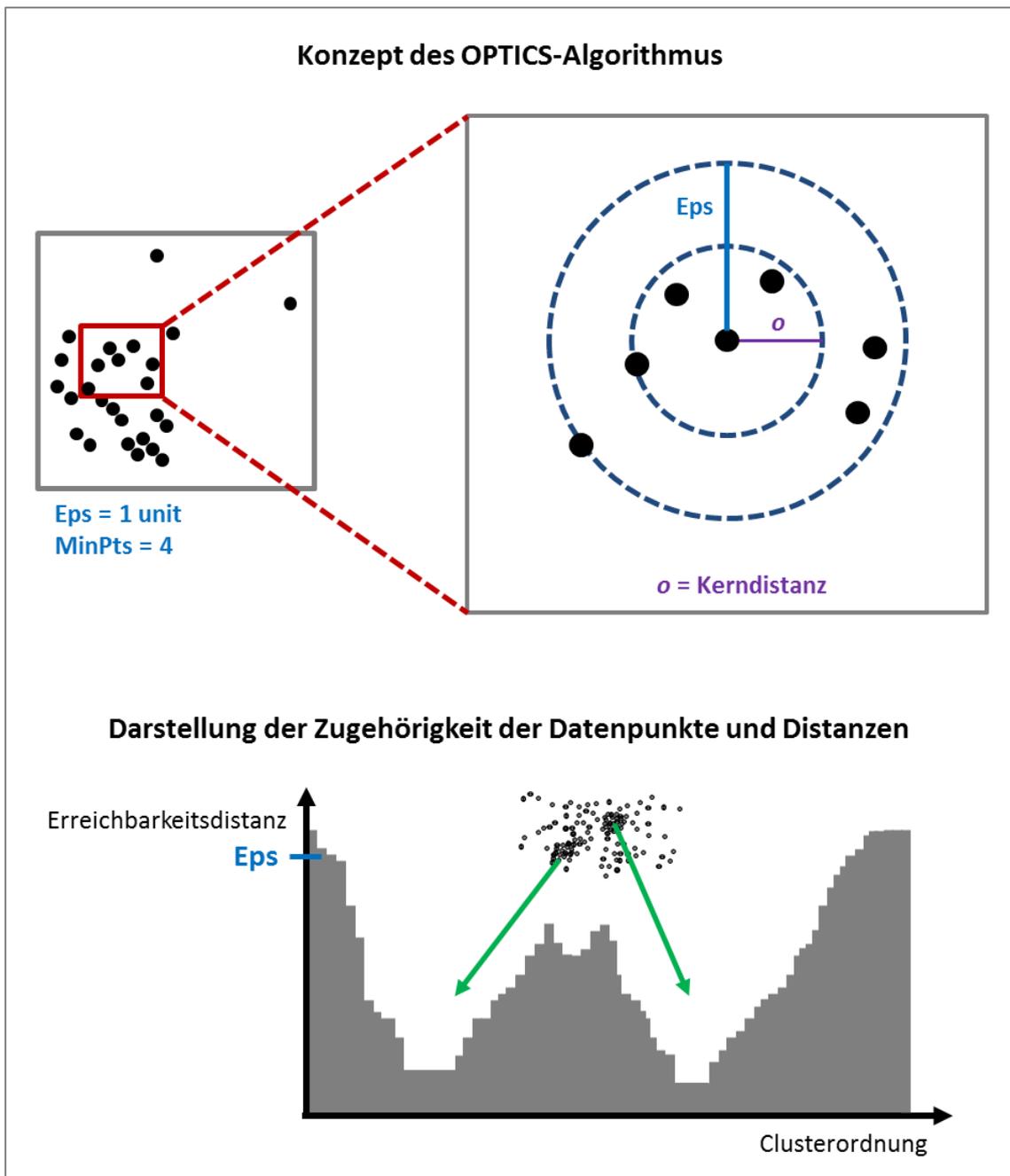


Abb. 11: Konzept des OPTICS-Algorithmus (nach ANKREST *et al.*, 1999: 52-54).

Ein weiterer Algorithmus, der ebenfalls dichte basiert arbeitet und einen erweiterten DBSCAN-Algorithmus darstellt, ist **OPTICS** (**O**rdern **P**oints **T**o **I**dentify the **C**lustering **S**tructure). Der OPTICS-Algorithmus (Abb. 11) erkennt, im Gegensatz zu DBSCAN, verschiedene Cluster mit unterschiedlichen Dichten und ordnet dabei sowohl die Punkte des Datensatzes als auch die Erreichbarkeitswerte und die Grundwerte in einer bestimmten Reihenfolge (ANKERST *et al.*, 1999). OPTICS arbeitet für eine unbegrenzte Anzahl an Distanzparametern, welche kleiner als die gegebenen respektive berechneten *Eps* des DBSCAN-Algorithmus sind. Die Rechenzeiten beider Algorithmen sind annähernd gleich, da beide durch die Abfragelaufzeit der *Eps*-Nachbarschaft dominiert sind (ANKERST *et al.*, 1999). Der OPTICS-Algorithmus errechnet eine hierarchische Clusterstruktur der Datenobjekte, wobei er effizient und wirksam arbeitet und die Punkte mit all ihren Informationen in einer logischen Reihenfolge ablegt.

Die zentralen Methoden im interdisziplinären Forschungsfeld von GIS und Ökologie sind kurz skizziert, damit der grundlegende Gedanke jeder einzelnen Arbeitsmethode verständlich ist.

2.2.6 Möglichkeiten visueller Darstellungen

Für die visuelle Erforschung von Bewegungsdaten sind geeignete Darstellungen essentiell. Dabei erlauben sie, den BetrachterInnen geeignete Rückschlüsse sowohl auf die gestellte Forschungsfrage als auch auf andere Themen respektive Bewegungen zu projizieren oder Lösungsansätze zu finden. Da die visuellen Darstellungen genauso vielfältig sind wie die verschiedenen Aggregationsmethoden, müssen stets Entscheidungen hinsichtlich des Abbildungsmaßstabes, des Detaillierungsgrades und der Zeitperiode getroffen werden. Für die Visualisierung von Bewegungsdaten mit einem räumlichen Bezug sind bei einer Übersicht (Makroskala) die Hauptbewegungsflüsse sowie die Zeitperiode von grossem Interesse. Je kleiner die räumliche Skala wird (Meso- und Mikroskala), desto mehr Details sollten sichtbar sein, damit die Bewegung in Relation zum Beispiel zur Umgebung gesetzt werden kann. Auch hier interessiert stets der zeitliche Rahmen, in dem die Bewegung stattgefunden hat.

Nach ANDRIENKO & ANDRIENKO (2007) stehen die Analyse und die visuelle Darstellung von Bewegungsdaten schon lange im Mittelpunkt der Forschung. Demzufolge ist anzumerken, dass die derzeit verwendeten Visualisierungstechniken für individuelle Repräsentationen eher traditionell sind. Das bedeutet, dass beispielsweise einfache Linien auf einer topographischen Karte oder in einem Raum-Zeit-Würfel (*space-time cube*) dargestellt oder am Computer animierte Karten mit sich bewegenden Objekten produziert werden. Die meisten Datengewinnungstechniken stellen die Daten in Form von Vektoren in einem multidimensionalen abstrakten Raum, als Sequenz von Symbolen oder als logische Ausdrücke dar. Des Weiteren zeigen ANDRIENKO & ANDRIENKO (2007) auf, dass nur geringfügig Forschung bezüglich der Darstellung von grossen Bewegungsdatensätzen betrieben wurde. Diesbezüglich stellt sich die Frage, ob die vorhandenen Visualisierungen überhaupt die Ansprüche und Bedürfnisse der WissenschaftlerInnen erfüllen. Für die Beantwortung dieser Frage, ist jedoch die entsprechende Forschungsfrage entscheidend. Liegt das Hauptaugenmerk auf der Identifizierung von Bewegungsmustern, muss zuvor geklärt werden, welche Muster im Zusammenhang mit den jeweiligen Bewegungsdaten existieren. Anschliessend besteht die Möglichkeit, entsprechende Techniken festzulegen damit die zuvor evaluierten Bewegungsmuster erkannt werden können.

Die zahlreichen Visualisierungsmöglichkeiten für Bewegungsdaten werden in Tabelle 3 kurz dargestellt.

Tab. 3: Computergestützte und visuelle Techniken für verschiedene Bewegungsmuster (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007: 136)

Bewegungsmuster	computer- und datenbankgestützte Techniken	Was wird visualisiert?	Visualisierungstechniken
Vergleich zwischen Individuen	Clusteranalyse basierend auf Distanzfunktionen Datenaggregation mit verschiedenen zeitlichen Auflösungen	Bewegungsstatistik in Clustern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dichtekarte ▪ gestaffelte Karten, die Bewegungen darstellen ▪ Histogramme
		in Cluster enthaltenes individuelles Verhalten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Karte mit Trajektorien ▪ Animierte Karten ▪ Raum-Zeit-Würfel
Eigenschaften von Gruppenverhalten über die Zeit	Generalisierung räumlich verteilter Punkte	Dichteoberflächen für unterschiedliche Zeitmomente	animierte oder mehrere Darstellungen: <ul style="list-style-type: none"> – Dichtekarte – perspektivische Ansichten
	Aggregation durch räumliche Abschnitten	diverse Statistiken: Anzahl Entitäten, gemittelte Merkmale, Varianzindikatoren etc.	animierte oder mehrere Darstellungen: <ul style="list-style-type: none"> – Choroplethenkarte – graduierte Symbolkarte – Diagrammkarte – Vektorkarte
	Statistische Aggregation aller Entitäten durch Zeitintervalle	Gesamtstatistik für verschiedene Zeitintervalle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mehrere Histogramme, Balken-/Sterndiagrammen ▪ zeitlich angeordnete Teilbalken
	Berechnung der Veränderung durch räumliche Abschnitte	Unterschiede oder Verhältnisse für Paarabschnitte und Zeitmomente	animierte oder mehrere Darstellungen mit unterschiedlichen Farbskalen
Unterschiedlich verbundene Muster	Datenbankabfragen bezüglich Bewegungsdaten und weiteren Datentypen	Teilmengen von Bewegungsdaten verbunden mit bestimmtem Verhalten	Hervorhebung graphischer Elemente entsprechend ausgewählter Daten
	Teilung von Bewegungsdaten und statistische Berechnung für Teilmengen	Statistik zu Merkmalen der Teilmengen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mehrere Histogramme, Balken-/Sterndiagramme ▪ mehrere Karten, mit aggregierten Positionen
Verknüpfung von Individuen und Eigenschaften/Aktivitäten anderer	Clusterbildung von Individuen	Statistik statischer Eigenschaften resp. Aktivitäten anderer innerhalb der Cluster	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Histogramme ▪ Balken-/Kreisdiagramme
Verknüpfung von Bewegungen und Merkmalen des Raumes/räumlicher Phänomene	räumliche Generalisierung/Aggregation	Aggregierte/generalisierte Bewegungsdaten im Zusammenhang mit räumlichen Daten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überlagerung mehrere Informationsebenen in einer Karte oder perspektivischen Ansicht ▪ Darstellung verschiedener Information in separaten Karten
Verknüpfung von Bewegungen und Zeitperioden	räumliche oder statistische Generalisierung/Aggregation	Bewegungen bezüglich entsprechender Zeitintervalle	Anordnung kleiner Darstellungen nach Zeitperioden
Verknüpfung von Bewegungen und Ereignissen		Zeiten und mögliche räumliche Verortung der Ereignisse	Darstellungen mit Informationen über Ereignisse durch verschiedene Illustrationen, Symbole, Markierungen etc.
Verknüpfung zwei numerischer Attribute/ von numerischem Attribut und linearer oder periodischer Zeit	Datenaggregation mit Attribut- oder Zeitintervallen	Anzahl der Ereignisse mit Wertkombinationen für jedes Intervallpaar	klassiertes Streudiagramm

2.3 Forschungslücken

Es existieren zahlreiche Untersuchungen zu Datenaggregationen, linien- und flächenhaften Generalisierungen sowie entsprechenden Clusteranalysen. Dabei wird jedoch stets nur eine Fragestellung respektive ein zu untersuchendes Phänomen auf einer bestimmten räumlichen oder zeitlichen Skala untersucht. Des Weiteren stellen die immer grösser werdenden Datensätze die Forschenden vor weitere Probleme hinsichtlich der Datenspeicherung sowie entsprechender Rechenzeiten bei der Durchführung bestimmter Algorithmen und Methoden. Ferner ist die Frage bezüglich einer skalenabhängigen Aggregation und Visualisierung der Daten unzureichend bekannt und steht somit nie im Vordergrund bei der Beantwortung der Forschungsfragen.

Die vielfältigen Aggregationsmethoden finden in den verschiedensten Forschungsfeldern bereits zahlreich Anwendung. Die gleichzeitige Berücksichtigung einer entsprechenden Skala respektive Skalenabhängigkeit wird dabei jedoch vernachlässigt. Beispielsweise wird der zu untersuchende Datensatz in drei räumliche Einheiten unterteilt, die evaluierte Aggregation ist aber auf allen Skalen die gleiche. Ferner stellt sich die Frage, ob dies überhaupt sinnvoll ist. Ist es vielleicht zielführender für jede Skala eine andere Aggregationsmethoden zu wählen, da nicht jede Methode auf jeder Skala den gleichen Effekt hat? Ergeben sich durch den Vergleich verschiedener Methoden auf den unterschiedlichen Skalen andere Ergebnisse respektive Schlussfolgerungen für die zu beantwortenden Forschungsfragen? Folglich ist anzumerken, dass ein Zusammenhang zwischen Skala und Aggregation sehr wahrscheinlich ist und näher erforscht werden muss. Auf dieser Annahme basiert die vorliegende Arbeit. Demzufolge werden die räumliche, zeitliche sowie die raumzeitliche Skala hinsichtlich ihres Einflusses auf die Wahl der geeigneten Aggregationsmethode in Verbindung mit der Analyse von Tierbewegungsdaten näher untersucht. Diese Untersuchung stützt sich dabei auf eine Anforderungsanalyse sowie ein konzeptuellen Entwurf einer multiskalaren Darstellung durch die Kombination von Skalen und Aggregationsmethoden in Form eines Entscheidungsbaumes. Ferner sollen in diesem Zusammenhang mögliche Aggregationsstufen erarbeitet werden, wodurch anschliessend entsprechende Vor- und Nachteile einer skalenabhängigen Aggregation formuliert werden können. Diesbezüglich ist auch die Visualisierung sehr wichtig, da sie die Darstellung der aggregierten Daten auf den entsprechenden Skalen ermöglicht.

ANDRIENKO & ANDRIENKO (2007) haben erkannt, dass ein Zusammenspiel von entsprechenden Datenbanktechnologien, computergestützten Datenverarbeitungen und Analysemethoden vorhanden sein muss, um Forschungsfragen bezüglich jeglicher Art von Bewegung beantworten zu können. Eine geeignete Kombination dieser Technologien und Methoden mit entsprechenden Visualisierungen erleichtert die gemeinsame Arbeit von Computer und Mensch, wodurch beide ihre spezifischen Fähigkeiten ausspielen können. Wie ein solches Zusammenwirken bestenfalls aussehen kann, ist allerdings noch nicht dargelegt worden. Reicht es, wenn ausschliesslich die angesprochenen Methoden und Technologien mit entsprechenden Leitfäden bereitgestellt werden oder wäre es sinnvoller, wenn die jeweiligen Fachkompetenzen miteinander kommunizieren und als Gemeinschaft arbeiten? Wie können diese Arbeitsweisen kombiniert werden und wer entscheidet letztendlich, ob die evaluierten Methoden geeignet sind? Basierend auf den Erkenntnissen von ANDRIENKO & ANDRIENKO sowie dem Wissen, dass die Erforschung von Bewegungen verschiedenster Organismen auf unterschiedlichen Skalen essentiell ist, wird in dieser Arbeit exemplarisch ein Zusammenwirken von Aggregation, Skala und Visualisierung angestrebt. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf skalenabhängigen Aggregations- und Visualisierungsmethoden von Tierbewegungsdaten.

Demzufolge werden Methoden und Techniken ausgesucht anhand derer die gewählten Skalen sowie Skalenstufen visuell dargestellt werden können. Die Visualisierung erfolgt durch entsprechend evaluierte Programme mit denen neben den Berechnungen auch passende Darstellungen von Diagrammen, Illustrationen und Ausschnitten möglich sind. Das Aufzeigen der Beziehung von Skala, Skalenabhängigkeit, Bewegungsart, Aggregation und Visualisierung ist das dementsprechende Ziel dieser Arbeit. Ausschliesslich die Kombination dieser Aspekte kann verdeutlichen, ob eine skalenabhängige Aggregation und Visualisierung für die Analyse von Tierbewegungsdaten nützlich ist und den WissenschaftlerInnen dienen kann. Durch eine entsprechende Durchführung, basierend auf der angesprochenen Anforderungsanalyse und dem konzeptuellen Entwurf, sowie einer angepassten Umsetzung und einer anschliessenden Evaluation durch entsprechende Experten, können eine Entscheidungshilfe sowie Pro und Kontra einer skalenabhängigen Aggregation und visuellen Darstellung diskutiert werden.

Diese Ziele und die formulierten Forschungsfragen werden in den folgenden Kapiteln (Kapitel 4 bis Kapitel 7) detailliert beschrieben und abschliessend ausführlich diskutiert (Kapitel 8).

3 MOVEBANK

Movebank ist eine kostenfreie Internetplattform, die vom Max-Planck-Institut für Ornithologie, dem North Carolina Museum of Natural Sciences (USA) und der Universität Konstanz koordiniert wird. Das Konzept, welches hinter Movebank steht, soll vor allem TierbewegungsforscherInnen helfen, ihre Daten zu analysieren und zu archivieren. Ferner dient es dazu, Daten zu verwalten, darzustellen und zu veröffentlichen. Movebank ist ein internationales Projekt mit aktuell über 3'500 Nutzern einschliesslich zahlreicher Wissenschaftler sowie Mitarbeiter von Universitäten, staatlichen Behörden und Naturschutzgruppen weltweit (WIKELSKI & KAYS, 2013).

Die Datenverwaltung von Movebank ermöglicht das Importieren von Tierbewegungsdaten fast aller Aufnahmetechniken. Dazu zählen unter anderem GPS-Sender, Geollogger, Telemetriesender, Satellitentelemetrie-Sender (Argos Doppler) und individuelle Markierungen (Abschnitt 2.1.2). Diese importierten Daten können auf Karten visuell dargestellt werden und es besteht die Möglichkeit, weitere zusätzliche Informationen den entsprechenden Datensätzen hinzuzufügen respektive diese mit externen Umweltdaten (z. B. Wetterdaten) zu verschneiden (FIEDLER & DAVIDSON, 2012).

Die Darstellung der Daten basiert auf einer verlinkten Google Maps Applikation, wobei die grundlegenden Funktionalitäten von Google Maps bereitgestellt werden. Dazu zählen das Hinein- und Herauszoomen sowie das Verschieben der Karte. Standardmässig zeigt die *Tracking Data Map* die gesamte Erde mit unterschiedlich farblich markierten Punkten, die jeweils eine Studie mit dem entsprechenden Standort zeigt (Abb. 12). Auf der Grundlage der Zugriffsberechtigung der Nutzer ist die farbliche Markierung der Punkte gewählt worden. Grau zeigt an, dass ausschliesslich der Name der Studie sowie die Zusammenfassung für die Öffentlichkeit sichtbar sind. Hellgrün bedeutet, dass zusätzlich zu diesen Informationen noch eine oder mehrere Tierbewegungsaufzeichnungen und bei Dunkelgrün alle Tieraufzeichnungen verfügbar sind. Das gleiche Farbschema zeigt sich auch in der Liste mit allen Studien, die sich links von der Karte befindet (WIKELSKI & KAYS, 2013).

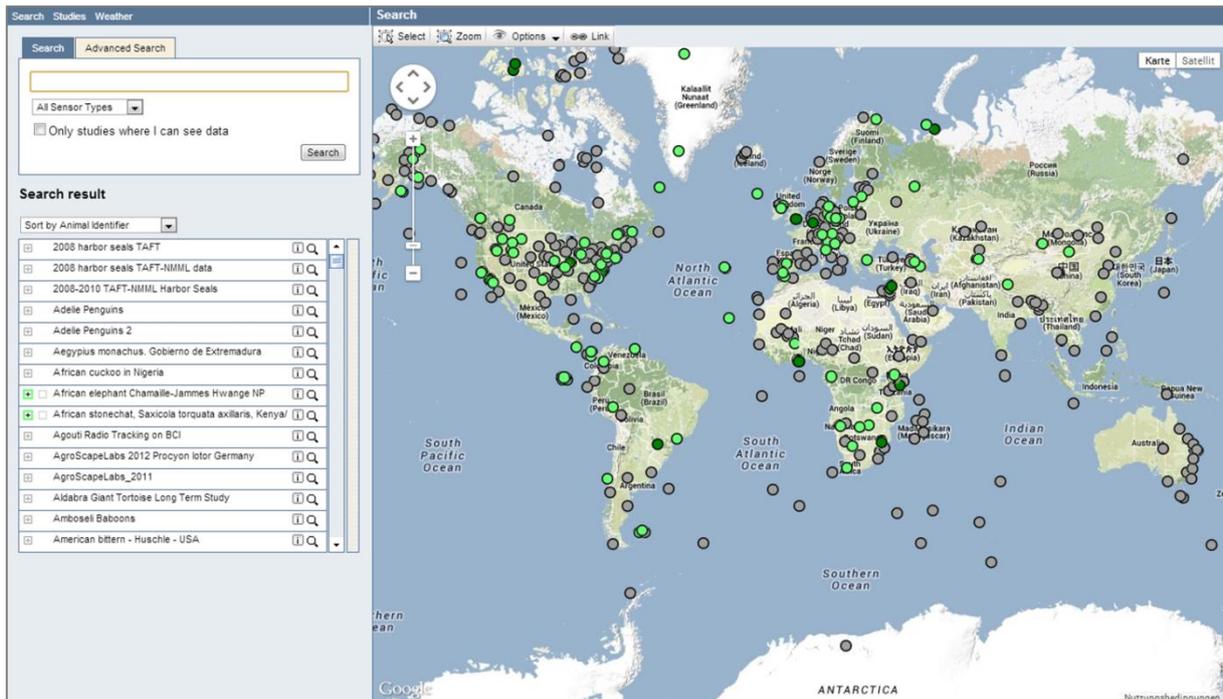


Abb. 12: Die Tracking Data Map der Movebank-Homepage.

3.1 Forschungskonzept Movebank

Die Ziele des Forschungskonzepts von Movebank haben eine zentrale Bedeutung und Wichtigkeit bei der Analyse von Tierbewegungen. Es hilft unter anderem, weltweite ökologische Herausforderungen, wie beispielsweise die Klima- und Landnutzungsveränderungen, den Verlust der Biodiversität, die mögliche Verbreitung invasiver Spezies oder aber allgemeine Infektionskrankheiten zu untersuchen. Da die Möglichkeiten der Datenaufnahme von Bewegungen im allgemeinen Sinn fortlaufend weiterentwickelt werden, können immer mehr und immer grössere Datenmengen aufgezeichnet werden. Diesbezüglich hat sich Movebank zum Ziel gesetzt, WissenschaftlerInnen bei dem Umgang mit solch riesigen Datenmengen zu helfen, damit diese die erfassten Daten effektiv nutzen und archivieren können (WIKELSKI & KAYS, 2013).

WIKELSKI & KAYS (2013) benennen folgende Hauptziele von Movebank:

- (1) Die Archivierung von Tierbewegungsdaten für weitere Verwendungen.
- (2) Die Zusammenarbeit mehrerer Personen und Gruppen zu ermöglichen.
- (3) Eine Unterstützung bei neuen Fragestellungen zu sein, indem die Möglichkeit besteht, Datensätze verschiedener Studien zu kombinieren um beispielsweise ökologische Muster, evolutionäre Prozesse oder Krankheitsverbreitungen zu untersuchen.
- (4) Die Förderung eines freien Zugangs zu Tierbewegungsdaten, vor allem, wenn die Datenerfassung öffentlich finanziert wird.
- (5) Die Erforschung von Tierbewegungen seitens der Öffentlichkeit.

Movebank ermöglicht dementsprechende Vergleiche von Tierbewegungen, welche lage-, zeit- und artenübergreifend sein können. Diesbezüglich sind auch die wesentlichen Kernpunkte besonders interessant, wobei es insbesondere darum geht, etwaige Anpassungen und Reaktionen auf Klima- und Landnutzungsänderungen zu untersuchen (Kranstauer *et al.*, 2011).

3.2 Struktur der Datensätze in Movebank

Das Datenmodell von Movebank beinhaltet sechs grundlegende Konzeptionen, die alle Datensätze gemeinsam haben (Wikelski & Kays, 2013): (1) das Tier (*animal*), (2) die Markierung (*tag*) sowie (3) der entsprechende Einsatz (*tag deployment*), (4) die Beobachtungen (*observations*), (5) die Sensoren (*sensors*) und (6) weitere Messungen (*measurements*).

Der Begriff (1) Tier beinhaltet charakteristische Informationen über das Individuum, wobei die taxonomisch richtige Benennung und eine eindeutige Bezeichnung am wichtigsten sind. Die (2) Markierung stellt eine eindeutige Kennzeichnung des beobachteten Tieres dar, einschliesslich des Markierungsmodells, des Typs, des Gewichts und des Herstellers. Normalerweise handelt es sich dabei um verschiedenste Arten von Sendern (GPS, Argos Doppler etc.) oder die Vogelberingung. Der (3) entsprechende Einsatz beinhaltet Informationen über die Befestigung und wie dieser endet, sei es durch Tod des Tieres oder durch Versagen der Markierung. In den (4) Beobachtungen sind das Datum, die Zeit, Längen- und Breitengrad sowie die Höhe gespeichert. Die (5) Sensoren bieten aufgrund der ständigen Weiterentwicklung mehrere Funktionen. Beispielsweise gibt es GPS-Argos-Sender, die sowohl Argos- als auch GPS-Lokationen unterstützen. Die (6) weiteren Messungen zeichnen zum Beispiel die Herzfrequenz des Tieres auf (Kranstauer *et al.*, 2011).

3.3 Beispieldatensätze

Die in dieser Arbeit ausgewählten Datensätze sind perfekte Beispiele für die drei verschiedenen Bewegungsarten, die im Abschnitt 2.1.1 ausführlich beschrieben sind. Dabei eignen sich die Datensätze besonders im Hinblick auf die gegebene Grösse und Heterogenität, um entsprechende Aggregations- und Visualisierungsmethoden zu testen. Auf Grund ihrer Verschiedenartigkeit gestatten sie die Analyse diverser Skalen (räumlich, zeitlich, raumzeitlich) und möglicher Aggregationsstufen. Demzufolge sollen sie bestenfalls entsprechende Aussagen bezüglich einer Skalenabhängigkeit in Kombination mit passenden Methoden zulassen.

Die Bewegungsdatensätze beinhalten zum einen das Migrationsverhalten mit Zwischenstopps von Truthahngeriern auf dem amerikanischen Kontinent, die Nahrungssuche von Fettschwalmen in Venezuela und zum anderen das Korridorverhalten von Fischermardern im US-Bundesstaat New York. Eine Zusammenfassung der Beispieldatensätze ist in Tabelle 4 dargestellt. Des Weiteren soll kurz anhand der Truthahngerier aufgezeigt werden, wie die Daten in Movebank visualisiert sind (Abb. 13).

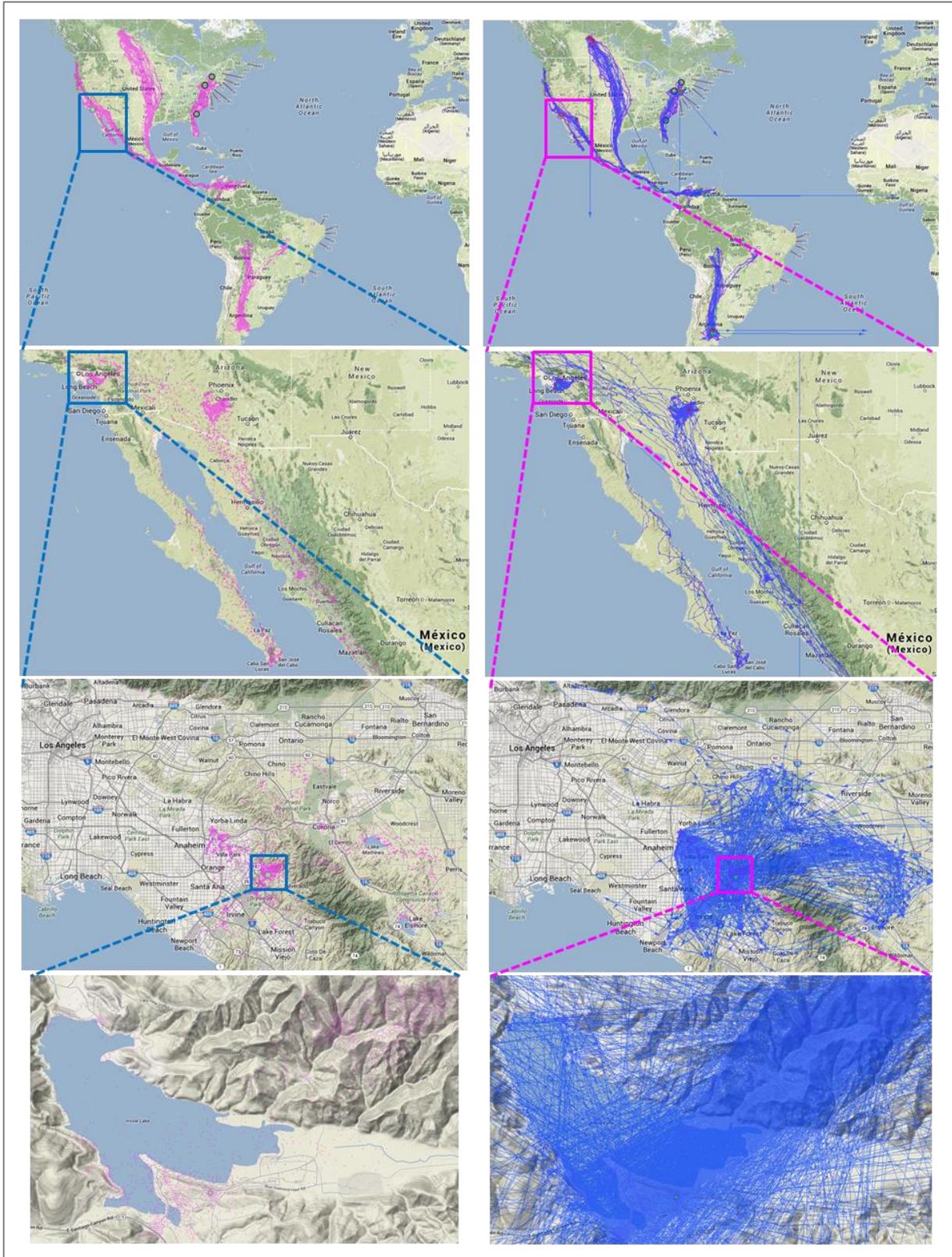


Abb. 13: Visuelle Darstellung des Datensatzes der Truthahngerier in Movebank mit reinen Punktdaten (links) und entsprechenden Trajektorien (rechts).

Tab. 4: Übersicht der Beispieldatensätze (Stand: Januar 2014).

	Truthahngeier (<i>Cathartes aura</i>)	Fettschwalm (<i>Steatornis caripensis</i>)	Fischermarder (<i>Martes pennanti</i>)
Bewegungsart	Migration mit Zwischenstopps	Nahrungssuche	Korridorverhalten
Name der Studie	<i>Turkey Vulture Acopian Center USA GPS</i>	<i>Oilbirds</i>	<i>Martes pennanti LaPoint New York</i>
Anzahl Tiere	38	40	8
Anzahl Datenpunkte	300'700	5'353	47'347
Durchschnittliche Abtastrate	1 Punkt pro Stunde	1 Punkt pro Stunde / 1 Punkte alle 15 Minuten	1 Punkt alle 10-20 Minuten
Zeitraum	11/2003 - aktuell	10/2007 - 02/2009	02/2009 - 05/2011
Markierung	GPS	GPS	GPS
Projektleiter	Keith L. Bildstein	Martin Wikelski	Scott LaPoint

3.3.1 Truthahngeier

Keith Bildstein und sein Team zeigen in ihrer Studie „Turkey Vulture Acopian Center USA GPS“ auf, dass die untersuchten Truthahngeier von Kanada bis Feuerland (Argentinien/Chile) vorkommen. Dabei lassen sie sich in zwei Gruppen teilen, eine nordamerikanische Population (30 Tiere), die sehr wanderungsfähig ist, und eine südamerikanische Population (8 Tiere), die weniger migriert. Das Wissenschaftlerteam ist sehr daran interessiert, mehr über die Bewegungsökologie dieser Greifvögel in Erfahrung zu bringen, da diese Tierart im Vergleich zu anderen Vogelarten eines der anpassungsfähigsten Wanderungssysteme besitzt (BILDSTEIN, 2013). Dabei vermuten sie, dass die Bewegung bezüglich ihrer selbst und der Navigation auf ein autoregressives Verhalten, das heisst, auf Erfahrungen früheren (gespeicherten) Verhaltens, zurückzuführen ist (MANDEL *et al.*, 2008).

3.3.2 Fettschwalm

Die Studie von Martin Wikelski „Oilbirds“ untersucht einen sehr ungewöhnlichen Vogel, der hauptsächlich in Südamerika vorkommt. Der Fettschwalm ist ein nachtaktiver, in sehr grosser Gemeinschaft lebender und fruchtessender Vogel. Durchschnittlich verbringen Fettschwalme nur jeden dritten Tag in ihrer Höhle, da sie für die Nahrungssuche mehrere Kilometer zurücklegen oder tagsüber in Bäumen sitzen und die am Tag zuvor aufgenommenen Früchte verdauen. Dabei wird durch die Wissenschaftler nahe gelegt, dass der Fettschwalm vielleicht der wichtigste „Fernsamenverteiler“ neotropischer Wälder ist (WIKELSKI, 2013).

Die Samenverbreitung ist einer der wichtigsten Prozesse in jedem Ökosystem. Dabei ist das Verständnis, wie Tiere die Ökosystemleistung von dispergierenden Samen zwischen Fragmenten und über lange Distanzen unterstützen, ein Hauptforschungsziel der Ökologie. Dieses Ziel wird mit den Bewegungsaufzeichnungen von 40 Fettschwalmen untersucht (HOLLAND *et al.*, 2009).

3.3.3 Fischermarder

Der Fischermarder, welcher in der Studie „Martes pennanti LaPoint New York“ von Scott LaPoint erforscht wird, kommt ausschliesslich auf dem nordamerikanischen Kontinent vor. Diese Raubtierart wird hinsichtlich des Gebrauchs von Korridoren innerhalb des Stadtrandgebietes von Albany, im US-Bundesstaat New York, untersucht, wobei sowohl Tierverfolgungsdaten als auch Kamerafallen genutzt werden (LAPPOINT, 2013).

Korridore werden weitgehend als wichtige Instrumente für die Erhaltung von Landschaftsverbindungen betrachtet. Die Ergebnisse der hochauflösenden Bewegungsdaten der acht Fischermarder legen nahe, dass diese durch den Gebrauch von Korridoren getrennte Habitatfragmente verbinden. Diese Resultate sollen genutzt werden, um entsprechende Korridore auf einer lokalen Ebene zu identifizieren (LAPPOINT *et al.*, 2013).

4 METHODIK

In dem folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise dargestellt, wie die erwünschten Ziele erreicht werden sollen und wodurch eine kritische Auseinandersetzung mit den Forschungsfragen ermöglicht werden kann.

Demzufolge soll als Erstes eine Anforderungsanalyse bei den Nutzern von Movebank respektive bei den Mitarbeitern des Max-Planck-Instituts für Ornithologie (Fokusgruppe) durchgeführt werden. Anschliessend sollen die Ergebnisse genutzt werden, um mögliche Anforderungen an entsprechende Aggregations- und Visualisierungsmethoden zu formulieren. In einem zweiten Schritt werden diese Resultate verwendet, um einen passenden konzeptuellen Entwurf, der das Zusammenspiel von Skalen und Aggregationsmethoden veranschaulicht, anzufertigen. Diesbezüglich soll ein Überblick über mögliche Methoden für zielführende Aggregationen gezeigt werden. In diesem Zusammenhang soll ebenfalls erarbeitet werden, welche Visualisierungen sich für die jeweiligen Datensätze und Aggregationsstufen eignen.

4.1 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse basiert auf zwei verschiedenen Teilen, einem literaturgestützten und einem nutzerbasierten Teil. Der erste Teil dient als Grundlage für die genauere Spezifizierung zur Durchführung des zweiten Teils, der eine Diskussion mit der entsprechenden Nutzergruppe zum Ziel hat. Beide Teile sind sehr wichtig für die weitere Umsetzung der Arbeit. Dabei werden entsprechende Kriterien respektive Parameter ermittelt, die eine bedeutende Voraussetzung für die Erstellung des konzeptuellen Entwurfs darstellen, welcher im Unterkapitel 4.2 näher beschrieben wird.

In dem literaturgestützten Teil wird eine Analyse der vorhandenen Möglichkeiten zur Aggregation und Visualisierung umgesetzt. Damit kann evaluiert werden, was, bezogen auf die unterschiedlichen Skalen, fehlt respektive besser gemacht werden kann, um den ForscherInnen ihre wissenschaftliche Arbeit zu erleichtern. Diese Informationen, die ausschliesslich auf der Literatur basieren, wirken zum Teil abstrakt und haben meist nur einen informellen Charakter. Dennoch ist dies eine gute Basis, um den nutzerbasierten Teil vorzubereiten und erste Fragen hinsichtlich der angestrebten Ziele zu erarbeiten. Im Zusammenhang mit dem zweiten Teil der Anforderungsanalyse ist es wichtig, in Erfahrung zu bringen, welche Charakteristiken die entsprechenden Bewegungsdatensätze aufweisen und welche Anforderungen die Experten an ein Werkzeug zur Aggregation und multiskalaren Visualisierung von Bewegungsdaten stellen. Zentrale Fragen an die ForscherInnen für das anschliessende konzeptuelle Design sind dementsprechend:

- (1) Was sind die wesentlichen Charakteristiken eines Bewegungsdatensatzes?
- (2) Was ist bei einer Aggregation von Bewegungsdaten für die Nutzer wichtig?
- (3) Welche Skalen werden benötigt und auf welcher Skala möchte der Nutzer was sehen?
- (4) Was soll bei der Visualisierung der Datensätze erkennbar sein?
- (5) In welcher Form (Grafik, Karte, Tabelle etc.) sollen die aggregierten Datensätze dargestellt werden?

All diese Fragen sollen in dem nutzerbasierten Teil, in Form eines Workshops am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Radolfzell, geklärt werden. Folglich entsteht eine fundierte Grundlage, bestehend aus der Literaturrecherche und dem ersten Teil der Benutzerstudie, die für die Anfertigung des konzeptuellen Entwurfs elementar sind. Der zweite Teil dieser Studie ist die Evaluation seitens der Expertengruppe, die in Kapitel 7 beschrieben ist.

Die Ziele der Anforderungsanalyse sind auf der einen Seite, die Kenntnis zu erlangen, welche Anforderungen der Nutzer an entsprechende Aggregations- und Visualisierungsmethoden stellt und was er unter einer Abhängigkeit der Skala versteht. Auf der anderen Seite, soll gezeigt werden, dass eine multiskalare Darstellung von Skalen und Aggregationen eine unterstützende Hilfe für die nähere Betrachtung der Datensätze sein kann respektive dadurch eine andere Sichtweise gewonnen wird.

Allgemein lässt sich festhalten, dass anhand der Datensätze entsprechende Eigenschaften der Bewegungsart und der jeweiligen Forschungsfrage herausgearbeitet werden können. Demzufolge können in einem weiteren Schritt passende Anforderungen an Aggregations- und Visualisierungsmethoden abgeleitet werden. Anschliessend kann ein konzeptueller Entwurf erarbeitet werden, der aufzeigt, wie Datensätze auf entsprechenden Skalen aggregiert und dargestellt werden können. Dabei steht vor allem die Anwendbarkeit seitens der Nutzer im Vordergrund.

Der nutzerbasierte Teil der Anforderungsanalyse wurde, wie zuvor kurz erwähnt, am Max-Planck-Institut für Ornithologie in Radolfzell durchgeführt. Bei diesem Workshop waren circa 20 Personen anwesend, unter ihnen WissenschaftlerInnen vom Institut selbst aber auch Masterstudenten des Fachbereichs Biologie der Universität Konstanz. Der Workshop war zweigeteilt. Als erstes wurde eine Präsentation mit den obenerwähnten Zielen gehalten und anschliessend eine Diskussion geführt, welche von Dr. Kamran Safi geleitet wurde. Im Anschluss bestand des Weiteren die Möglichkeit, mit zwei WissenschaftlerInnen noch einmal vertiefend die Anforderungsanalyse zu besprechen und auch Informationen zu ihren Forschungsschwerpunkten zu erlangen. Die Ergebnisse dieser Anforderungsanalyse werden in den folgenden Abschnitten näher dargestellt.

4.1.1 Ergebnisse der literaturgestützten Anforderungsanalyse

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass die räumliche, zeitliche wie auch raumzeitliche Aggregation und visuelle Darstellung von Bewegungsdatensätzen von grosser Bedeutung sind. Demzufolge ist deren Beziehung überaus wichtig, was eine Gegenüberstellung verschiedener Raum- und Zeiteinheiten impliziert. Die Abstufungen der verschiedenen Skalen sind dabei ebenso zentral wie deren Vergleiche. So ist zum Beispiel die Gegenüberstellung von globaler zu lokaler Skala (MANDEL *et al.*, 2008), die Darstellung von Tag, Monat und Jahr (MANDEL *et al.*, 2011) oder die Gegenstücke Tag und Nacht respektive die verschiedenen Jahreszeiten wie Sommer und Winter

(BLAKE *et al.*, 2013) sehr bedeutend und interessant. Die raumzeitliche Aggregation verbindet diese einzelnen Aspekte zu einer Ganzheit, wodurch die Darstellung der Gesamtbewegung hinsichtlich Orts- und Zeitangaben möglich ist (DELMORE *et al.*, 2012).

Ein weiterer Aspekt sind entsprechende Zusatzinformationen in den Darstellungen, die einer exakten Analyse und Interpretation der Bewegungsdaten dienen sollen. Diesbezüglich sind Informationen hinsichtlich der Topographie (MANDEL *et al.*, 2008) sowie der Umwelt (MANDEL *et al.*, 2011; FRITZ *et al.*, 2003) sehr wertvoll für die Visualisierung der Tierbewegung, um eventuelle Abhängigkeiten aufzuzeigen. Bezogen auf entsprechende Umweltinformationen sind vor allem die Windverhältnisse, die Verteilung von Grünflächen sowie die allgemeine Bodenbedeckung wichtig (BLAKE *et al.*, 2013).

Des Weiteren sind Angaben bezogen auf die Aufenthaltsorte wie beispielsweise entsprechende Zwischenstopps (BAUCHINGER *et al.*, 2008; SEEWAGEN *et al.*, 2010) oder Brutplätze, Rast- und Überwinterungsgebiete (DELMORE *et al.*, 2012) von Interesse. Sie können eine entsprechende Verweildauer aufzeigen, wobei auch die Darstellung des Zeitintervalls der Aufzeichnung wichtig ist. Ferner sind damit mögliche Fehlerquellen verbunden, die Abweichungen von bis zu 15 m (MANDEL *et al.*, 2008) respektive eine ungenaue Ortung (BLAKE *et al.*, 2013) beinhalten können.

4.1.2 Ergebnisse der nutzerbasierten Anforderungsanalyse

Die Ergebnisse der nutzerbasierten Anforderungsanalyse haben ebenfalls die Bedeutung der räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Aggregation deutlich hervorgehoben. Bezüglich der räumlichen Aggregation soll auf der globalen Skala lediglich eine grobe Bewegung ersichtlich sein und bei mehreren Individuen ein Hinweis gegeben werden, wie sie sich in dieselbe Richtung bewegen. Zum Beispiel, ob die Bewegungen hintereinander oder parallel zueinander ausgeführt werden. Die zeitliche Aggregation beinhaltet die gleichen Gegenüberstellungen die auch in der Literatur verdeutlicht wurden. Der Vergleich von Tag und Nacht, Sommer und Winter oder tierartenspezifische saisonale Bewegungen sind von grosser Wichtigkeit und Interesse. Die raumzeitliche Aggregation hat die Fokusgruppe durch vermehrte Anmerkungen, wie beispielsweise „Wo ist das Tier?“, „Wieviel Zeit verbringt es wo?“, ausdrücklich betont.

Die Fokusgruppe zeigte zwei Perspektiven auf, die in der Literatur nicht sehr stark thematisiert wurden. Zum einen die individuelle Aggregation und andererseits die Aggregation des Verhaltens. Diesbezüglich sollen einzelne Individuen als auch Gruppen sowie diverse Untergruppen berücksichtigt werden und, wenn möglich, die Beachtung des Geschlechts gegeben sein. Damit ist beispielsweise der Median-Track einer Gruppe mit Abweichungen einzelner Untergruppen und Individuen gemeint. Darüber hinaus wird auch eine entsprechende Gliederung vorgeschlagen: Makroskala mit Gruppe, Mesoskala mit Untergruppen und Mikroskala mit Individuen. Weiterhin ist die Aggregation des Verhaltens auch immer bedeutender für die Erforschung des Soziallebens der Tiere. Demzufolge soll eine Vereinbarkeit von sozialen Interaktionen und Skala möglich gemacht werden. Dazu gehören der Vergleich von Untergruppen, die Distanzmessung zwischen Mitgliedern einer Gruppe sowie das Erfassen des Führungsverhaltens innerhalb einer Gruppe/Untergruppe. Diese Vorstellung der individuellen und verhaltensspezifischen Aggregation bezieht sich hauptsächlich auf ein Gespräch mit einer Forscherin, die das Verhalten von Pavianen untersucht.

Neben diesen sehr spezifischen Anforderungen seitens der Fokusgruppe an unterschiedliche Aggregationsmöglichkeiten sind auch Informationen hinsichtlich der Topographie sowie der Umwelt,

wie auch bei den Ergebnissen der Literatur diskutiert, sehr zentral. Diese Zusatzinformationen bilden für die Fokusgruppe aber eher einen Rahmen für eine zielführende Analyse der Bewegungsdaten. Demzufolge sind hier mehr die individuellen Gegebenheiten der entsprechenden Tierspezies zu berücksichtigen. Dabei sind vor allem das jeweilige Geschlecht und das Alter der Tiere sowie bei Tieren, die sich hauptsächlich fliegend bewegen, sowohl die Flughöhe als auch die individuelle Geschwindigkeit und deren Beschleunigung von Interesse.

Bei der visuellen Darstellung sollten auch gewisse Hinweise auf mögliche Fehlerquellen gegeben sein. Die Fehler, die unter Umständen bei der Datenaufnahme entstehen, müssen entsprechend beachtet werden. Dazu zählt unter anderem die Berücksichtigung unterschiedlicher Aufnahmetechniken, wie zum Beispiel der Unterschied zwischen Geolocator und GPS. Die Genauigkeit der Daten ist somit eine sehr nützliche Information für die WissenschaftlerInnen. Diese Angaben sind ebenso wichtig, wie die Kennzeichnung bestimmter Aufenthaltsorte von Individuen und Gruppen. Die Markierung entsprechender Positionen wurde schon in der Literatur verdeutlicht. Dabei sind vor allem Zwischenstopps sowie Start- und Endpunkte der Bewegung für die Fokusgruppe sehr zentral. Demzufolge soll ersichtlich sein, wo sich das jeweilige Tier gerade befindet und wie lange es an den entsprechenden Orten verweilt respektive mit welchem Zeitintervall die Punkte auseinanderliegen. Bezogen auf den Sachverhalt des Zeitintervalls stellt sich für die ForscherInnen meist die Frage, ob zwischen zwei Punkten nur 5 Minuten oder aber 6 Stunden vergangen sind. Des Weiteren ist die Darstellung der ursprünglichen zu den aggregierten Daten von Interesse, damit bei einer Interpretation der Informationen nochmals auf die Originaldaten zurückgegriffen werden kann.

4.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Basierend auf der Anforderungsanalyse bei der Fokusgruppe hat sich ergeben, dass sowohl die Aggregationen als auch die Visualisierungen stets kontextabhängig sind und dass dieser Kontext skalenabhängig ist. Die Kontextabhängigkeit wurde in der Literatur bislang nicht explizit aufgezeigt, jedoch wird eine Skalenabhängigkeit thematisiert. Des Weiteren lässt sich festhalten, dass den WissenschaftlerInnen die verschiedenen Aggregationsmethoden sowie deren Kombination wichtig sind, um entsprechende Analysen und Vergleiche durchzuführen. Als sehr zentraler Aspekt wird seitens der Fokusgruppe angemerkt, dass alle Nutzer eines solchen Tools den Vorgang der Aggregation und Visualisierung verstehen möchten, da eine Interpretation der Ergebnisse sonst unter Umständen nicht möglich ist. Neben diesen allgemeinen Ergebnissen lassen sich auch sehr spezifische Wünsche und Anforderungen bestimmen, die die ForscherInnen in ihrer Arbeit unterstützen und helfen würden. Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse sind kurz und übersichtlich in Tabelle 5 zusammengetragen und zeigen eine entsprechende Gegenüberstellung von Literatur und der Fokusgruppe.

Tab. 5: Zusammenfassung der Ergebnisse der literaturgestützten und nutzerbasierten Anforderungsanalyse.

Themenbereich	Literatur	Fokusgruppe
räumliche Aggregation	(DESROCHERS <i>et al.</i> , 2010; FRITZ <i>et al.</i> , 2003; MANDEL <i>et al.</i> , 2008) – lokale Skala: Millimeter bis Meter – regionale Skala: einige Kilometer – globale Skala: Gesamtdarstellung	– globale Skala: grobe Bewegung – Frage: Wie bewegen sie sich in dieselbe Richtung (hintereinander oder parallel zueinander)?
zeitliche Aggregation	(MANDEL <i>et al.</i> , 2008 und 2011) – Mikroskala: Sekunden bis Minuten – lokale Skala: einige Stunden – regionale Skala: einige Tage – globale Skala: längere Zeiteinheiten (z. B. Jahre)	– Tag vs. Jahr – Tag vs. Nacht – Sommer vs. Winter – saisonale Bewegung
raumzeitliche Aggregation	– Höhe über Meer bezüglich der Monate (BLAKE <i>et al.</i> , 2013) – Gesamtbewegung hinsichtlich Orts- und Zeitangaben (Längengrad und Monate) (DELMORE <i>et al.</i> , 2012)	– Frage: Wo sind die Tiere und wie viel Zeit verbringen sie wo?
individuelle Aggregation	– Individuum (DELMORE <i>et al.</i> , 2012)	– Kennzeichnung verschiedener Individuen (auch bezogen auf Alter und Geschlecht) – Makroskala: Gruppe – Mesoskala: Untergruppen – Mikroskala: Individuum
Aggregation des Verhaltens	---	– Abhängigkeit von Tierart – Sozialverhalten: Konflikte innerhalb der Gruppe, Führungs- und Mitläuferverhalten – Abstand zwischen Individuen einer Gruppe
Zusatzinformation	– Topographie (MANDEL <i>et al.</i> , 2008) – meteorologische Daten (MANDEL <i>et al.</i> , 2011; FRITZ <i>et al.</i> , 2003) – Vegetationszonen (BLAKE <i>et al.</i> , 2013) – Geschlecht, Alter, Grösse des Tieres (BLAKE <i>et al.</i> , 2013)	– Umweltinformationen und Topographie – Geschwindigkeit, Beschleunigung, Flughöhe, Geschlecht, Alter des Tieres
weitere Messungen	– Zwischenstopps (BAUCHINGER <i>et al.</i> , 2008; SEEWAGEN <i>et al.</i> , 2010) – Brutplätze, Rast- und Überwinterungsgebiete (DELMORE <i>et al.</i> , 2012) – Reviere (LAPPOINT <i>et al.</i> , 2013; SQUIRES <i>et al.</i> , 2013)	– Zwischenstopps – Start- und Endpunkt
Fehlerquellen	– GPS: Abweichung von bis zu 15 m (MANDEL <i>et al.</i> , 2008), ungenaue Ortung (BLAKE <i>et al.</i> , 2013)	– fehlerhafte Daten – Geolocator: grössere Raumwahrscheinlichkeiten – GPS: ungenaue Positionsbestimmung

Es lässt sich festhalten, dass die gestellten Anforderungen an Aggregations- und Visualisierungsmethoden mit einer entsprechenden Umsetzbarkeit abgeglichen werden müssen. Dieser Abgleich soll vor allem Vor- und Nachteile zu den einzelnen Vorgehensweisen beinhalten sowie Empfehlungen für die passende Skala aufzeigen. Eine detaillierte Betrachtung dieses Sachverhaltes folgt im Unterkapitel 4.2.

4.1.4 Anforderungen an Aggregations- und Visualisierungsmöglichkeiten

Basierend auf den Ergebnissen der Anforderungsanalyse lassen sich vier zentrale Anforderungen an Aggregations- und Visualisierungsmethoden ableiten. Diesbezüglich lassen sie sich in skalenbezogenen Anforderungen und in allgemein wichtige Aspekte bei der Visualisierung von Bewegung gliedern.

Skalenbezug

- (1) Besonders wichtig ist die räumliche, zeitliche und raumzeitliche Aggregation der Bewegungsdaten. Die Möglichkeit, die Daten anhand dieser Skalen zu aggregieren, ist stets Inhalt aller vorliegenden Forschungsprojekte. Demzufolge hat diese Anforderung einen besonders hohen Stellenwert in dieser Arbeit.
- (2) Zentrale Aufenthaltsorte von Individuen und Gruppen, wie Brut- und Nistplätze, dürfen bei der Aggregation nicht verloren gehen und sind in den visuellen Darstellungen entsprechend zu kennzeichnen. Vor allem bei Tierarten, die migrieren, ist die Markierung des Start- und Endpunktes der Migration sowie entsprechende Zwischenstopps respektive Brut- und Überwinterungsgebiete wichtig. Auch dürfen die Reviere von Landtieren nicht vernachlässigt und müssen durch entsprechende Aggregations- und Visualisierungsmethoden dargestellt werden.

Visualisierung

- (3) Neben den eigentlichen Bewegungen des Tieres sind auch zusätzliche Informationen von grossem Interesse. Umweltinformationen, meteorologische Daten und die Topographie sind ebenso wichtig wie das Geschlecht und Alter des Tieres.
- (4) Die auftretenden Fehlerquellen müssen bei entsprechenden Berechnungen und Darstellungen ebenfalls vermerkt und berücksichtigt werden, da diese, vor allem auf den sehr kleinmasstäbigen Darstellungen, zu Verfälschungen führen können.

Die Vorstellung von individueller und verhaltensspezifischer Aggregation und Visualisierung ist ebenfalls für die Erforschung von Tierbewegungen sehr interessant, doch wird sie in dieser Arbeit nicht vertiefend betrachtet. Lediglich die Untersuchung von einzelnen Individuen und der gesamten Gruppe respektive des gesamten Datensatzes mit allen Tieren wird berücksichtigt. Wie sich diese Anforderungen mit möglichen Methoden vereinen lassen wird im folgenden Unterkapitel 4.2 näher analysiert.

4.2 Konzeptueller Entwurf

Ein konzeptueller Entwurf ist ein verallgemeinertes Gebilde für die Beschreibung und Präsentation ausgewählter Aspekte für die Lösungsfindung der jeweiligen Forschungsfragen. Dabei steht die formale Darstellung, folglich das konzeptuelle Schema, im Vordergrund dieses Entwurfprozesses, wobei entsprechende Verbindungen zu dem gegebenen Anwendungsbereich berücksichtigt werden. Charakteristisch sind dabei die enge Verknüpfung zur realen Welt respektive die jeweilige Nutzerorientierung und nicht eine Implementation eines vollumfänglich funktionierenden physischen Modells (LONGLEY *et al.*, 2011). Der in dieser Arbeit entwickelte konzeptuelle Entwurf einer multiskalaren Darstellung, der eine Verbindung von Skalen und Aggregationsmethoden schaffen soll, beruht auf entsprechenden Methoden und Techniken aus Kapitel 2 sowie der literaturgestützten und nutzerbasierten Anforderungsanalyse. In dem folgenden Abschnitt 4.2.1 werden die evaluierten Methoden und das konzeptuelle Design in Form eines graphischen Entscheidungsbaumes präsentiert. Das Ziel ist es, eine Entscheidungshilfe zu entwickeln, in der die Möglichkeit bestehen soll, anhand einer gewählten Bewegungsart und Skala eine passende Aggregationsmethode respektive eine Auswahl an Methoden vorzuschlagen.

4.2.1 Erstellung des Entscheidungsbaumes

Die Erstellung des Entscheidungsbaumes basiert auf entsprechenden Methoden der Aggregation, Generalisierung und Clusteranalyse, die in Abschnitt 2.2.5 ausführlich beschrieben sind. Der konzeptuelle Entwurf einer multiskalaren Darstellung, der die Verknüpfung von Skalen und Methoden skizziert, soll die Grundlage für die Entwicklung des anschließenden Prototyps (Kapitel 5) darstellen. Diese Entscheidungshilfe soll der Analyse von Tierbewegungsdaten dienen und den WissenschaftlerInnen entsprechende Möglichkeiten von Skalen und Methoden aufzeigen.

Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse sowie die gegebenen Methoden und Techniken aus den vorangegangenen Kapiteln bilden die Basis, auf denen der Entscheidungsbaum (Abb. 14) erarbeitet wurde. Dabei wurden mittels der Verknüpfung von Literatur und den Anforderungen der Fokusgruppe entsprechende Skalen herausgearbeitet und miteinander kombiniert. Die räumliche, zeitliche und raumzeitliche Skala, die in Abschnitt 2.2.1 vorgestellt wurden, sowie passende Abstufungen durch die Beschreibung einer Makro-, Meso- und Mikroskala bilden den Ausgangspunkt respektive den Rahmen des Entscheidungsbaumes.

Darauf aufbauend wurden die Aggregationsmethoden in das vorliegende Schema eingegliedert und durch Darstellungen und Beschreibungen aus der Literatur den entsprechend Skalenstufen zugewiesen. Diesbezüglich sind beispielsweise Linienvereinfachungen für die Makro- und Mesoskala für die Migrationsbewegung ausgewählt worden. Zum einen, weil es eine der bekanntesten und meistgenutzten Technik der Kartographie ist und zum anderen, weil die Fokusgruppe geäußert hat, dass auf einer globalen Skala eine grobe Bewegung ausreichend ist. Des Weiteren haben die Publikationen von DELMORE *et al.* (2012), LI (2007) und WILTSCHKO & WILTSCHKO (2012) gezeigt, dass sich diese Methode für eine übersichtliche Darstellung gut eignet.

Die Abgrenzungen des Aktionsraumes der Individuen wurden ebenfalls für die Makroskala ermittelt, allerdings hier für das Verhalten der Nahrungssuche respektive für den Datensatz der Fettschwalme. Dies soll vor allem der Identifikation von möglichen Überschneidungen dienen und häufig genutzte

Rastplätze, in diesem Fall Höhlen und Baumgruppen (HOLLAND *et al.*, 2009), aufzeigen. Des Weiteren können dadurch der entsprechende Lebensraum eines Individuums respektive einer Gruppe ermittelt werden. Dies ist vor allem dann sinnvoll, wenn sich die Individuen des Bewegungsdatensatzes der Fettschwalme eigentlich in einem Nationalpark befinden sollten. Demzufolge können die WissenschaftlerInnen mit einer einfachen Methode analysieren, wo und in welchem Radius sie sich ausserhalb des Parks aufhalten, um so entsprechende Erkenntnisse zu gewinnen.

Die Mikroskala enthält ausschliesslich Aggregationsmethoden der Clusteranalyse. Dabei sind fast alle Methoden für alle Bewegungsarten gedacht, mit Ausnahme der Line Density, die nur für das Korridorverhalten evaluiert wurde. Auf Grund der Tatsache, dass Line Density die Längen der Trajektorien für jede Nachbarschaft einer definierten Rasterzelle berechnet, eignet sich diese Methode besonders für die Ermittlung von Korridoren. Die weiteren Platzierungen der Clusteranalysen auf der Mikroskala beruhen auf Ergebnissen der Literatur. DEMŠAR & VIRRANTAUŠ (2010), DOWNS (2010), MABRY & PINTER-WOLLMANN (2010), SCHWAGER *et al.*, (2007), STRAUSS (2011) und YAN & WEIBEL (2008) haben in ihren Publikationen entsprechende Clusteranalysen durchgeführt und gezeigt, dass diese auf kleinen räumlichen und zeitlichen Skalen sehr nützlich sind.

Des Weiteren wurde der Entscheidungsbaum mit der Intention erstellt, dass er selbsterklärend ist und dadurch von jedem genutzt werden kann. Zu Beginn findet noch eine Unterteilung des Datensatzes statt. Dabei erfolgt die Aufteilung nach Individuum ($n = 1$) und Gruppe ($n \geq 2$). Dies ist die sinnvollste Unterteilung, die auch meist in der Ökologie vorgenommen wird (WILTSCHKO & WILTSCHKO, 2012). Zu der Gruppe zählen Paare, Teilgruppen, aber, wie der Name schon sagt, auch die Gesamtzahl der Individuen, die Gruppe. Anschliessend geben die Pfeile Auskunft über mögliche Aggregationsmethoden, die sich auf der entsprechenden Skala eignen. Ob dieser Entscheidungsbaum sinnvoll und nützlich ist, wird in den folgenden Kapiteln näher diskutiert. Diesbezüglich werden die Experten einige Methoden exemplarisch evaluieren (Kapitel 7), welche anschliessend ausgewertet werden, wobei abermals auf diesen ursprünglichen Entscheidungsbaum respektive das gesamte konzeptuelle Design eingegangen wird (Kapitel 7 und Kapitel 8).

Die folgende Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der ausgewählten Aggregationsmethoden des Entscheidungsbaumes mit entsprechenden Vor- und Nachteilen, die für den anschliessenden Prototyp genutzt werden sollen.

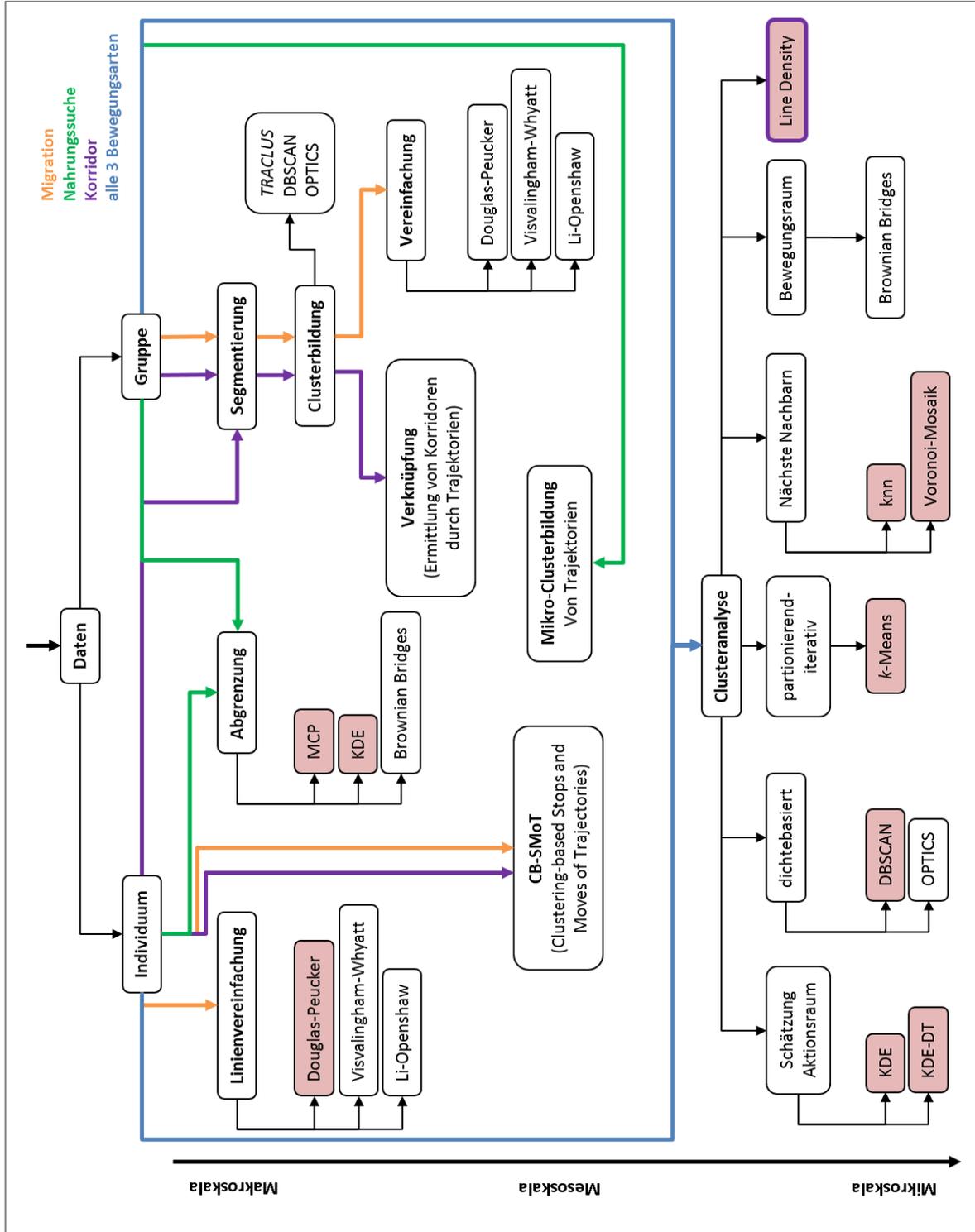


Abb. 14: Entscheidungsbaum mit entsprechenden Pfeilen für nützliche Methoden. Die rot gekennzeichneten Felder werden im anschließenden Prototyp genutzt werden.

Tab. 6: Vor- und Nachteile der wichtigsten Aggregationsmethoden.

Methoden	Vorteile	Nachteile
arithmetisches Mittel	– sinnvoll für Intervalle und Verhältnisse	– schwach gegen Ausreisser – ungeeignet bei ordinalen und nominalen Merkmalen
Median	– robust gegen Ausreisser – tatsächlich vorkommende Merkmalsausprägung – bei ordinalen Merkmalen anwendbar	– ungeeignet bei nominalen Merkmalen
MCP	– Reviergrösse und -grenzen	– abstrakte Fläche
Douglas-Peucker Algorithmus	– ganzheitliche Berechnung – charakteristische Eigenschaften – geringere Positionsfehler	– Toleranzwert
KDE	– Reviergrösse und -grenzen – Hotspots – zwei- und dreidimensional	– Glättungsparameter
Line Density	– Aktionsraum – Hotspots (v.a. Korridore)	– Suchradius
Thiessen-Polygone	– parameterfrei – Anpassung an Skalen und Dichten – unbeschränkte Anzahl Nachbarn – Hotspots	– unsichere Polygongrenzen
k -Means	– Robustheit – Einfachheit und Flexibilität	– Definition von k – Bestimmung der Startpunkte – berücksichtigt Rauschen und Ausreisser
DBSCAN	– eliminiert Rauschen – Anpassung an Clusterdichte – Hotspots	– Eingabeparameter

5 ENTWICKLUNG EINES PROTOTYPS

Das Wort Prototyp bedeutet im Allgemeinen, ein „typisches, für andere stellvertretendes Beispiel, Muster, das der eigentliche Inbegriff dessen ist, was man sich gewöhnlich darunter vorstellt“ (DWDS, 2014). Dies beinhaltet, dass es eine erste Ausführung eines angestrebten Zieles ist und dem Testen von zuvor bedachten Inhalten und Funktionen dienen soll. Der in dieser Arbeit entwickelte Prototyp basiert auf der Anforderungsanalyse und dem konzeptuellen Entwurf. Dabei ist dieser nicht interaktiv angelegt, sondern zeigt als Ergebnisse statische Abbildungen der entsprechenden Methoden (Kapitel 6). Der Zweck dieses Prototyps ist die mögliche Unterstützung bei der Analyse und Erforschung von Tierbewegungsdaten. Das angestrebte Ziel ist eine multiskalare Darstellung verschiedener Methoden und Skalen, die den WissenschaftlerInnen bei der Forschung behilflich sein soll. Es geht nicht darum eine perfekte Implementation vorzubereiten, sondern abzuwägen, welche Methoden auf welchen Skalen sinnvoll und der entsprechenden Forschungsfrage dienlich sind. Das Ziel des Prototyps ist es, zu ermitteln, ob eine skalenabhängige Aggregation auf entsprechenden Stufen nützlich und sinnvoll ist und welche Vor- und Nachteile sie bedingt. Diesbezüglich sind zwei Softwareprogramme mit entsprechenden Eigenschaften evaluiert worden, mit denen der Prototyp umgesetzt wurde. Der entsprechende Nachweis der Machbarkeit wird in Kapitel 6 detailliert beschrieben.

5.1 Bearbeitung mit R

R ist eine freie Software sowie eine Programmiersprache und Entwicklungsumgebung für computergestützte statistische Berechnungen und Grafiken (THE R FOUNDATION, 2013). *Freie Software* bedeutet, dass der Nutzer das Programm für jeden beliebigen Zweck verwenden und an eigene Bedürfnisse anpassen kann. Ein Zugang zum Quellcode ist ebenso gegeben wie die Möglichkeit, das Programm zu verbessern und der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen (GNU, 2014).

Aufgrund all dieser Möglichkeiten, die R bietet, und dem Aspekt, dass vorhandene Implementationen in Movebank ebenfalls mit R arbeiten, wurde entschieden, dieses Programm zu verwenden. Die vorliegende Arbeit beruht auf der R Version 3.0.1 respektive dem RStudio 0.97.551. Des Weiteren sind für bestimmte Berechnungen und Darstellungen entsprechende Pakete zu installieren. Tabelle 7 zeigt die Übersicht der Pakete und welche Funktionen sie enthalten. Diesbezüglich ist anzumerken, dass diese Pakete die entsprechende Methode enthalten, aber meist weitere Pakete bedingen. Zum Beispiel wird für KDE, noch das Paket `sp` benötigt, da zuvor ein Datenrahmen mit räumlichen Punkten erstellt werden muss. Die entsprechenden R-Codes sind im Anhang A zu finden.

Tab. 7: Pakete in R mit den entsprechenden Funktionen.

Paket	Kriterium		Funktion
	vorhanden	installieren	
adehabitatHR	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bewertung von Lebensräumen – <i>MCP</i>
deldir	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Delaunay Triangulation und Dirichlet (Voronoi) Tesselation – <i>Thiessen-Polygone</i>
fpc	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Flexible Verfahren zur Clusteranalyse – <i>DBSCAN</i>
geosphere	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sphärische Trigonometrie – <i>mean</i>
grDevices	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Grafikerstellung und Unterstützung von Farben und Schriftarten – <i>convex hull</i>
ks	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Kernglättung – <i>KDE</i>
shapefiles	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Lesen und Schreiben von Esri Shapefiles – <i>Douglas-Peucker Algorithmus</i>
stats	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Statistik – <i>k-Means</i>

5.2 Bearbeitung mit ArcGIS

ArcGIS ist im Vergleich zu R eine proprietäre Software sowie eine Plattform für die Entwicklung und Verwaltung von Lösungen durch die Anwendung geographischen Wissens (ESRI Inc., 2014). *Proprietäre Software* bedeutet, dass eine Weiterverbreitung und Modifizierung untersagt ist, der Quellcode für den Nutzer nicht zugänglich ist und das Nutzungsrecht in Form einer Lizenz erworben werden muss (GNU, 2014). Dennoch umfasst ArcGIS Lösungen und Werkzeuge, die der Datenverwaltung, der Darstellung und Bearbeitung zwei- und dreidimensionaler Daten sowie der Geoverarbeitung dienen (ESRI Inc., 2014).

Basierend auf diesen Eigenschaften und um einen Vergleich zu R zu erhalten, erlaubt die Softwareversion ArcGIS 10.1 (License Type: Advanced) von Esri eine sehr gute Gegenüberstellung der Berechnungen und Ergebnisse aus R. Die nachfolgende Tabelle 8 stellt die entsprechenden Werkzeuge der ArcToolbox mit den jeweiligen Funktionen dar, anhand derer die Berechnungen in ArcGIS 10.1 vorgenommen wurden.

Tab. 8: Werkzeuge in ArcGIS mit den jeweiligen Funktionen.

ArcToolbox	Funktion
Analysis Tools	Proximity → Create Thiessen Polygons – <i>Thiessen-Polygone</i>
Data Management Tools	Features → Minimum Bounding Geometry – <i>convex hull</i>
Editing Tools	Generalize – <i>Douglas-Peucker Algorithmus</i>
Spatial Analyst Tools	Density → Kernel Density, Line Density – <i>KDE</i> – <i>Line Density</i>

5.2.1 Zusatztool Geospatial Modelling Environment

Das Zusatztool *Geospatial Modelling Environment* (GME) wurde von H. L. Beyer (2012) entwickelt und beinhaltet einige Werkzeuge, die eine ausführliche Analyse und Modellierung von Geodaten ermöglicht. Dabei verbindet es die Eigenschaften der Statistiksoftware R mit den geographischen Verarbeitungsfunktionalitäten von ArcGIS. Der Zweck von GME ist es, den Nutzer bei einer zielführenden Antwortsuche zu unterstützen (BEYER, 2012). In dieser Arbeit wurde die Version 0.7.2.1 verwendet.

Da eine äquivalente Betrachtung der Ergebnisse beider Programme erzielt werden soll, ist für die Berechnung einiger Clusteranalysen dieses Zusatztool für ArcGIS unumgänglich. Diesbezüglich sind alle evaluierten Methoden mit beiden Softwarelösungen umsetzbar und werden im Unterkapitel 6.3 zusammenfassend gegenüber gestellt. Tabelle 9 zeigt die Befehle und Funktionen, die mit dem GME berechnet werden können.

Tab. 9: Befehle und entsprechende Funktionen in GME

Befehl	Funktion
genmcp	Erzeugung von kleinsten konvexen Polygonen – <i>MCP</i>
kde	Kerndichteschätzung – <i>KDE</i>
kmeans	k-Means Klassifizierung – <i>k-Means</i>
r.deldir	Berechnung der Delaunay Triangulation und Dirichlet Tesselation – <i>Thiessen-Polygone</i>

6 NACHWEIS DER MACHBARKEIT

Dieses Kapitel veranschaulicht die Durchführbarkeit und entsprechende Ergebnisse der evaluierten und diskutierten Aggregationsmethoden und Programme, die für die Umsetzung des Prototyps nützlich sind.

Für jeden Bewegungsdatensatz sind sowohl Beispiele zu Individuen als auch zur gesamten Gruppe genutzt worden. Die Bezeichnungen der Individuen lauten bei der Migration *Butterball* (Individuum N) und *Domingo* (Individuum S), bei der Nahrungssuche *80397* und für das Korridorverhalten *M3*. Diese wurden deshalb ausgesucht, weil die entsprechenden Publikationen diese Beispieldatensätze näher untersucht haben. Demzufolge besteht die Möglichkeit die hier ermittelten Ergebnisse mit denen der Forschung abzugleichen, wodurch Gemeinsamkeiten und Unterschiede ermittelt werden können. Für die Evaluation (Kapitel 7) sind die Bezeichnungen der Individuen anonym gehalten, damit keine Verknüpfungen hergestellt werden können, falls einer der Experten Informationen über die jeweiligen Datensätze hat.

6.1 Umsetzung und Ergebnisse mit R

Die Bearbeitung mit R ermöglicht die Umsetzung fast aller Methoden bei allen Datensätzen. Die Ergebnisse zeigen, dass mit R sowohl räumliche als auch zeitliche Analysen ökologischer Gegebenheiten verwirklicht werden können.

Die Berechnung der MCP respektive der konvexen Hülle (*chull*) ist relativ simpel und kann mithilfe der oben genannten Pakete bestimmt werden. Dazu müssen die Datenpunkte definiert werden, die grundlegend für die beiden Berechnungen sind. Im Paket *adehabitatHR* ist des Weiteren eine Prozentzahl, die definiert wie viele der Datenpunkte sich innerhalb des Polygons befinden sollen, sowie die Einheit der Standortkoordinaten (km) und die Ausgabe der Gebietsgrösse (km²) anzugeben. Bei dem Paket *grDevices* sind diese Angaben zu vernachlässigen. Abbildung 15 zeigt die entsprechenden grafischen Darstellungen der beiden unterschiedlichen Pakete, welche für eine Makroskala sinnvoll erscheinen.

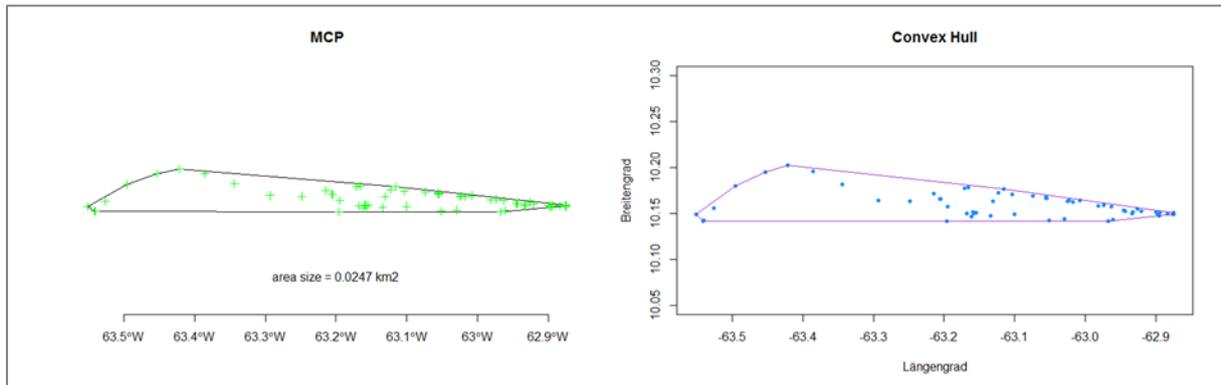


Abb. 15: Minimum Convex Polygon (MCP) des Pakets *adehabitatHR* (links) und Convex Hull des Pakets *grDevices* (rechts) für das Individuum 80397.

Das Paket *deldir* enthält eine Funktion für die Berechnung von Thiessen-Polygonen (Voronoi), wobei diese in dem Paket als Dirichlet Tessellation bezeichnet werden. Diesbezüglich sind die Koordinaten der Punkte zu übergeben, anhand derer die Triangulation und Tessellation errechnet werden soll. Weiterhin wird eine Liste definiert, die angibt, ob ein rechteckiges Gitter um die Datenpunkte konstruiert werden soll oder ob der Rahmen der konvexen Hülle entsprechen soll. Die unterschiedlichen Skalen können hier durch das Definieren individueller Ausschnitte umgesetzt werden. Die Resultate dieser Methode mit zwei verschiedenen Stufen sind in nachfolgenden Grafik (Abbildung 16) dargestellt.

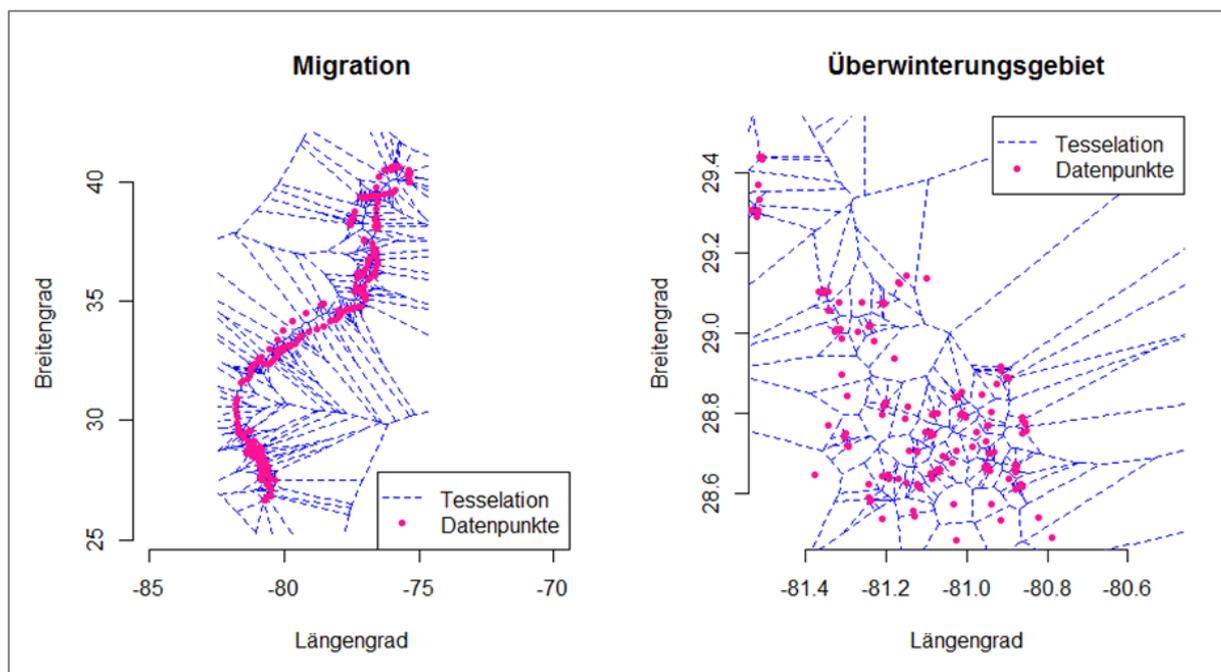


Abb. 16: Thiessen-Polygone für das Individuum Butterball mit der Gesamtmigration (links) und der detaillierten Betrachtung des Überwinterungsgebietes (rechts).

Der Douglas-Peucker (DP) Algorithmus befindet sich im Paket `shapefiles`. Dabei wird die Linie der Datenpunkte durch Angabe individueller Toleranzwerte in Einheiten der Originaldatei vereinfacht. Abbildung 17 veranschaulicht das Beispiel eines einzigen Fettschwalmes, wobei die Angabe der Toleranz verdeutlicht, wie stark die Linie simplifiziert wird. Der passende R-Code benötigt dabei lediglich die Datenpunkte sowie den Toleranzwert. Die verschiedenen Toleranzen können mit entsprechenden Skalen verbunden werden. Dabei entspricht der Makroskala die Toleranz 2, der Mesoskala die Toleranz 0.05 und der Mikroskala die Toleranz 0.005.

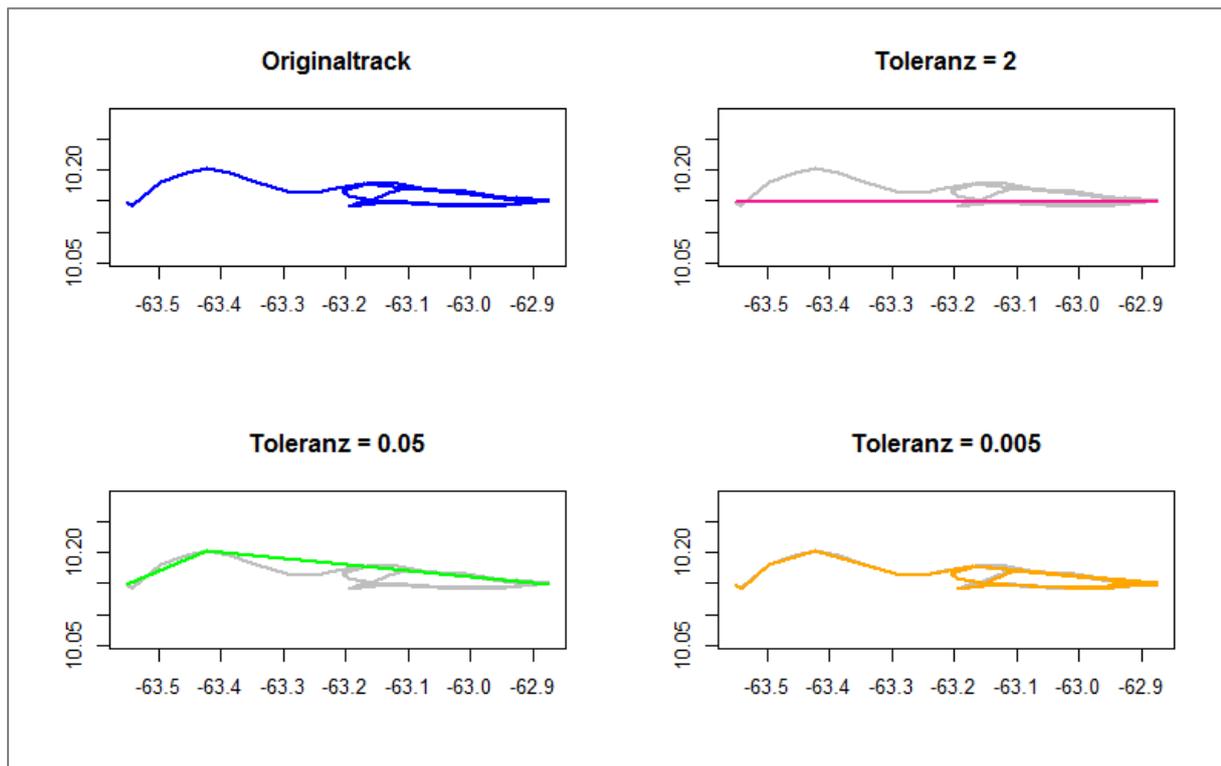


Abb. 17: Ergebnisse des Douglas-Peucker Algorithmus für das Individuum 80397.

Die Kerndichteschätzung (KDE) kann in R sowohl zwei- als auch dreidimensional bestimmt werden und ist im Paket `ks` zu finden. Zuerst wird dazu anhand der Datenpunkte eine Matrix erstellt, die in der Berechnung der KDE grundlegend ist. Des Weiteren sind in der Formel die Bandweite sowie die Angabe der Dimension zu definieren. Das zwei- und dreidimensionale Ergebnis konnte nur für die Fettschwalmes umgesetzt werden, da diese eine Höhenangabe in den Datensätzen hinterlegt haben. Für die Truthahngerier und die Fischermarder sind lediglich zweidimensionale Ergebnisse realisiert worden. Abbildung 18 zeigt die visuellen Ergebnisse der Fettschwalmes in 2D und 3D. Bei der dreidimensionalen Grafik kann die Darstellung beliebig geschwenkt und verschoben sowie in diese herein- und herausgezoomt werden. Dieses Zoomen ist mit entsprechenden Skalenstufen gleichzusetzen, wohingegen bei der zweidimensionalen Darstellung die Skalen anhand von räumlichen Verortungen umzusetzen sind.

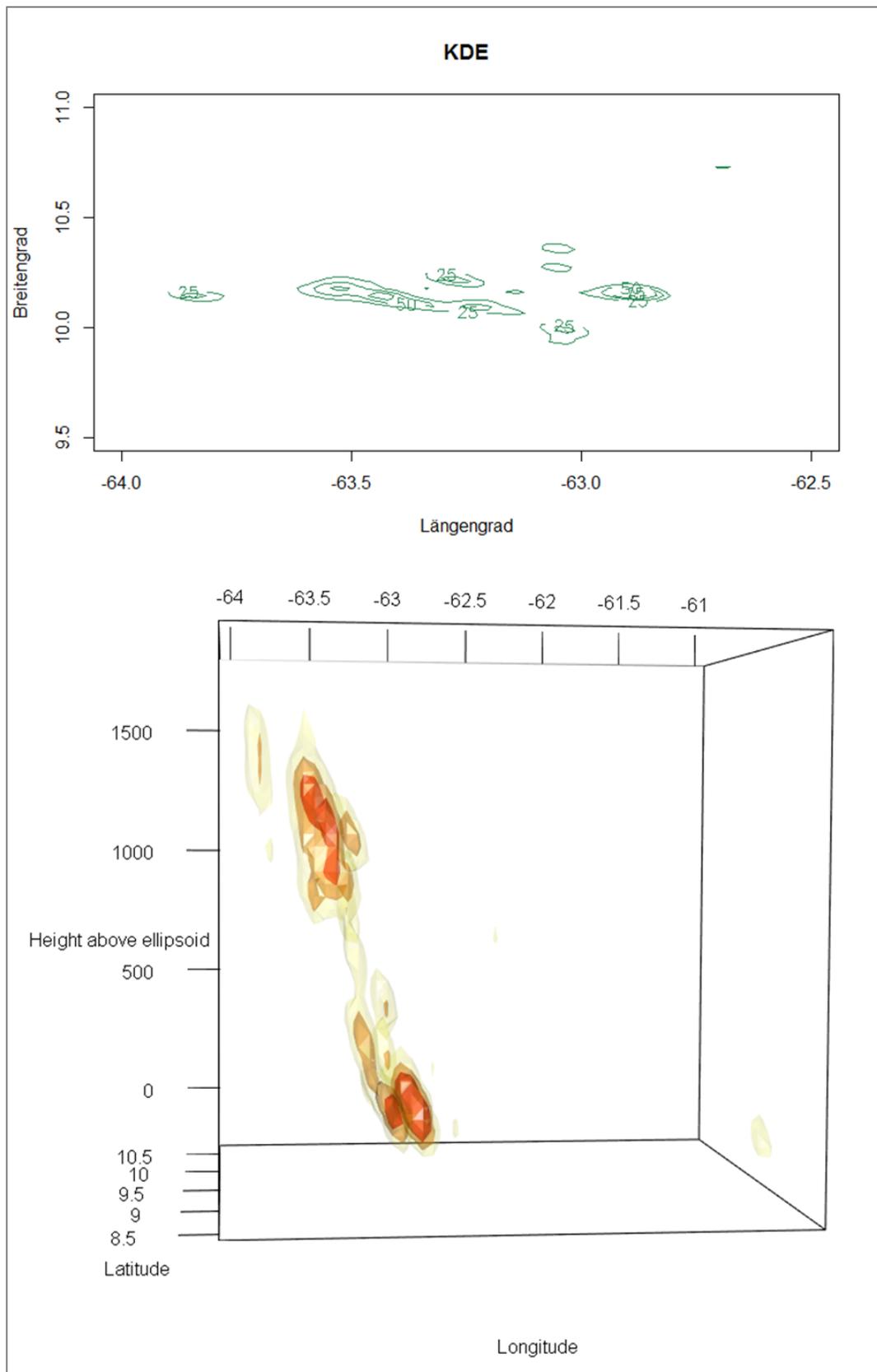


Abb. 18: Resultate der KDE für die Gruppe der Fettschwalme in 2D (oben) und 3D (unten).

Das bereits in R vorhandene Statistikpaket `stats` beinhaltet eine Funktion zur Berechnung des *k*-Means-Algorithmus. Dabei wird wie bei der KDE zunächst eine Matrix mit den Datenpunkten erstellt. Diese Matrix wird ebenso der Funktion übergeben wie die gewünschte Anzahl an Clustern, die maximale Iteration sowie die Anzahl der Zufallsätze. Ferner wird die Methode des *k*-Means durchgeführt und es werden entsprechende Werte erzeugt, die unter anderem angeben, welcher Datenpunkt zu welchem Cluster gehört und wie viele sich innerhalb des definierten Clusters befinden. Abbildung 19 veranschaulicht dies exemplarisch. Dabei können die errechneten Cluster mit Hotspots verglichen werden und verdeutlichen, auf welche Gebiete ein grösseres Augenmerk gelegt werden sollte. Direkte Skalen respektive Stufen existieren im Zusammenhang mit dieser Methode und in R nicht.

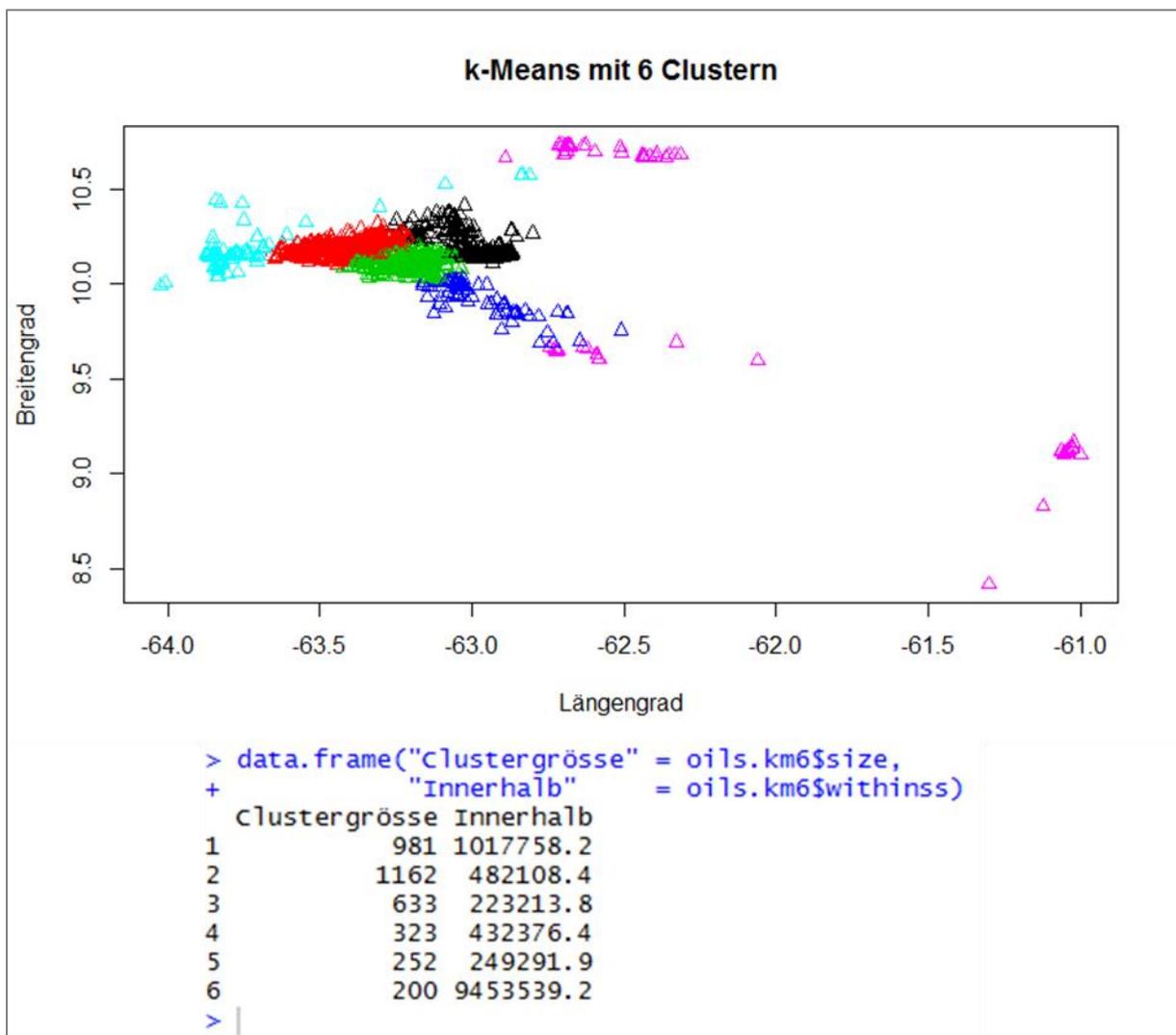


Abb. 19: *k*-Means-Algorithmus für die Gruppe der Fettschwalm mit der normalen Grafik (oben) und Beispielwerten wie der Clustergrösse und der Quadratsumme der Cluster (unten).

Das Paket `fpc` beinhaltet den Algorithmus DBSCAN, mit dem eine Dichterreichbarkeit sowie eine Häufung der Cluster berechnet werden kann. Dieser Algorithmus benötigt eine Datenmatrix, ein passendes *Eps*, das die Erreichbarkeitsdistanz definiert, sowie *MinPts*, welche die Mindestzahl erreichbarer Punkte bestimmt. Des Weiteren ist die Festlegung einer geeigneten Methode ein

zentraler Aspekt, wobei aus drei verschiedenen Vorgehen auszuwählen ist. Diese Vorgehen unterscheiden sich in der Berechnung der Distanzmatrix sowie in der Kapazitätsnutzung des Arbeitsspeichers. Ähnlich dem k -Means-Algorithmus sind keine direkten Skalen definiert, sondern die Ergebnisse verdeutlichen, wo mögliche Hotspots sind, die in einer anschließenden Analyse berücksichtigt werden sollten. Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse des DBSCAN mit verschiedenen Eingabeparametern.

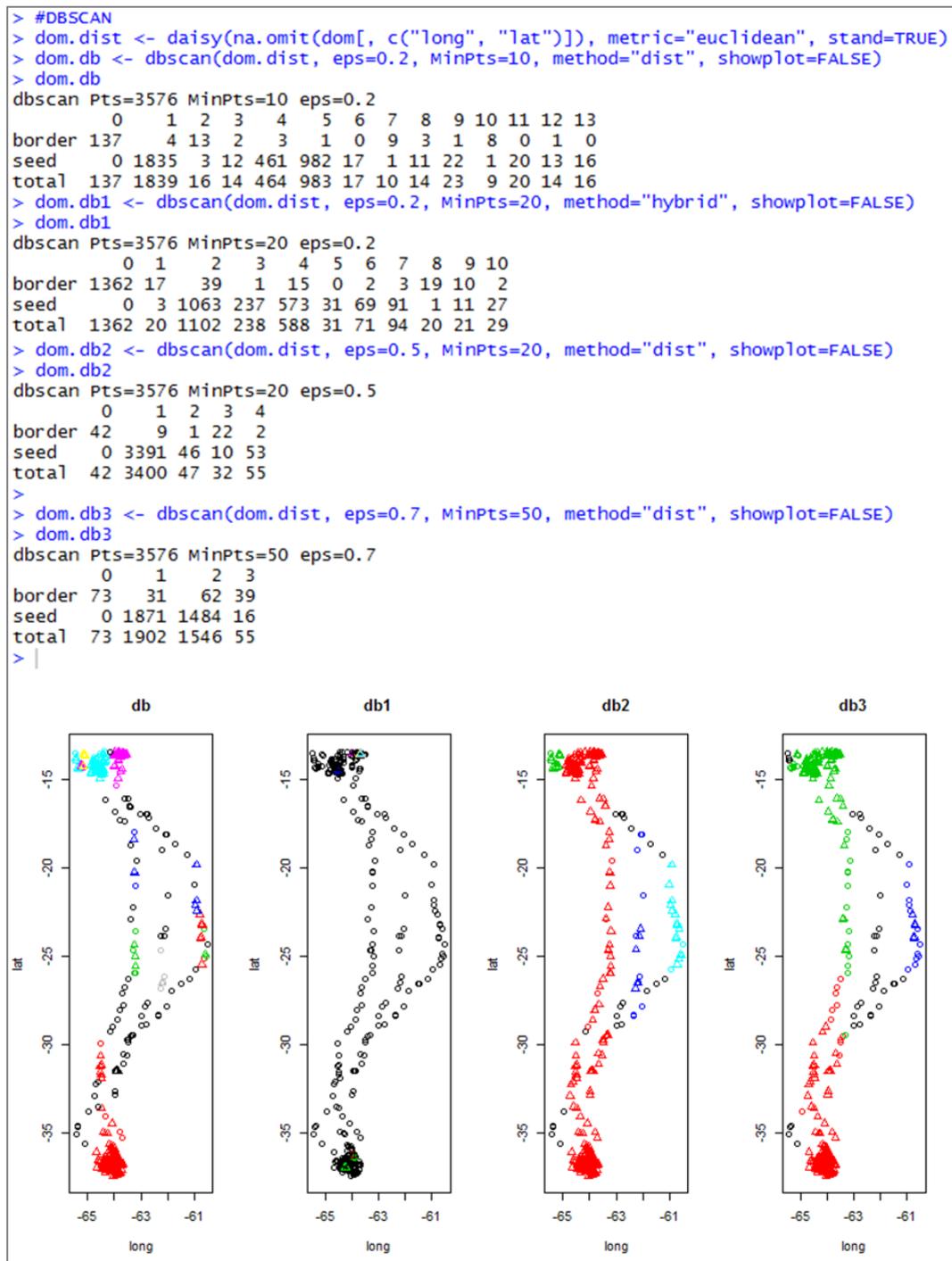


Abb. 20: Ergebnisse des DBSCAN-Algorithmus für das Individuum Domingo mit R-Code (oben) und entsprechenden Grafiken (unten).

Die zuvor beschriebenen Methoden sind ausschliesslich räumlich geprägt. Da aber auch die Zeit einen Einfluss auf die Bewegung hat, sind exemplarisch ein Mittelwert pro Tag und Mittelwerte pro Stunde bei den Datenpunkten des Fettschwalms 80397 berechnet worden. Für diese Berechnungen ist das Paket `geosphere` zwingend notwendig. Mit Hilfe dieses Pakets sind Distanzmatrizen und mittlere Standorte sphärischer Koordinaten berechnet worden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 21 visuell dargestellt.

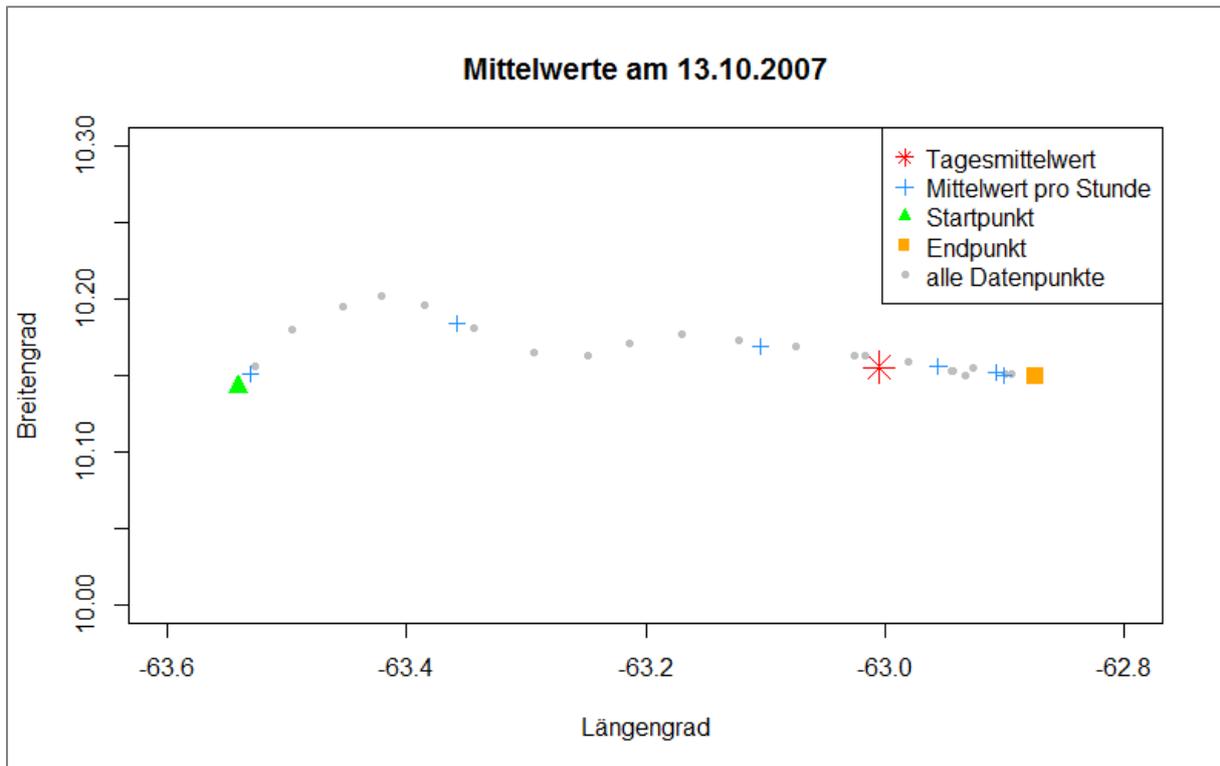


Abb. 21: Berechnung verschiedener Mittelwerte eines Tages des Individuums 80397.

Neben diesen Methoden und Algorithmen sind weitere Berechnungen in R durchgeführt worden. Beispielsweise existieren Funktionen, die anhand der Datenpunkte Analysen ausführen und als Ausgabe eine bestmögliche Wahl einer Clusteranzahl wiedergeben. Ebenfalls sind für gleiche Methoden mehrere Pakete und Funktionen vorhanden mit denen die oben genannten Berechnungen umgesetzt werden können. Zum Beispiel kann die konvexe Hülle auch mit dem Paket `tripack` berechnet werden, wobei zuvor eine Triangulation der Datenpunkte ausgeführt wird. Die folgende Tabelle 10 zeigt eine Übersicht über die Datensätze und die Methoden. Bei den rot und gelb markierten Feldern sind Probleme aufgetreten respektive ergaben sich keine logischen Ergebnisse. Diese Probleme und Schwierigkeiten werden im anschließenden Abschnitt 6.1.1 ausführlich diskutiert.

Tab. 10: Überblick der Umsetzbarkeit von Methoden bei entsprechenden Datensätzen (Grün = gut durchführbar, Gelb = eingeschränkt, Rot = nicht realisierbar).

Methode	Migration			Nahrungssuche		Korridor	
	Butterball	Domingo	Gruppe	80397	Gruppe	M3	Gruppe
MCP	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
chull	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
Voronoi	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
DP	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot	Gelb	Rot
KDE	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
k-Means	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot
DBSCAN	Grün	Grün	Rot	Grün	Grün	Grün	Rot
mean	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün

6.1.1 Auswertung: Probleme und Interpretation

Die mit Grün gekennzeichneten Felder zeigen keine Probleme oder Schwierigkeiten bei der Durchführung. Die vier gelb markierten Felder verweisen eher auf nicht sinnvolle Umsetzungen und die mit Rot vermerkten Felder verdeutlichen Probleme respektive unlogische Realisierungen.

Beim kompletten Datensatz zur Bewegungsart Migration sind einige Komplikationen aufgetreten. Die Berechnung einer MCP oder konvexen Hülle ist generell durchführbar, aber bei einem solch grossen Datensatz gehaltlos. Ferner kann auch nicht der gesamte Datensatz in einem genommen werden, sondern müsste im Vorfeld entsprechend unterteilt werden. Dies wäre umsetzbar, wenn zunächst eine Unterteilung nach der Population durchgeführt wird und anschliessend möglicherweise nach der Region. Zum Beispiel wäre folgende Einteilung möglich: nördliche Population Ost, nördliche Population West und nördliche Population Zentrum. Das gleiche Vorgehen wäre auch für die Berechnung der Thiessen-Polygone (Voronoi) sinnvoll. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass in R die Berechnung aller drei Methoden umgesetzt werden kann, doch eine gewisse Einschränkung in dem Gehalt der gewonnenen Ergebnisse steckt.

Der Douglas-Peucker (DP) Algorithmus ist bei allen Gruppen, egal welche Bewegungsart, nicht schlüssig und ebenfalls nicht umsetzbar. Der implementierte Algorithmus berücksichtigt eine chronologische Abfolge der Datenpunkte und würde bei einem genügend grossen Arbeitsspeicher sehr lang rechnen. In diesem Fall müsste zunächst eine Clusterbildung der Trajektorien vorgenommen werden, um anschliessend den Douglas-Peucker Algorithmus auszuführen. Weiterhin ist diese Methode bei dem Korridorverhalten von M3 nicht brauchbar, da es eine rein räumliche Vereinfachung der Bewegungslinie ist und dem Kern dieser Bewegungsart in keinsten Art und Weise gerecht wird.

Die Berechnungen von k-Means und DBSCAN für die Gruppe des Migrations- und Korridorverhaltens zeigen erhebliche Probleme bei der Durchführung aufgrund eines zu kleinen Arbeitsspeichers (16 GB). Diese beiden Methoden sind für entsprechende Analysen und detaillierte Betrachtung etwaiger Hotspots sehr bedeutungsvoll und interessant. Für die Verwirklichung dieser Methoden für grosse heterogene Datensätze muss allerdings ein genügend grosser Arbeitsspeicher vorhanden sein. Da beide Methoden Matrizen und Distanzen berechnen müssen und die Datensätze beachtlich gross sind, gelangt der Arbeitsspeicher schnell an seine Grenzen. Dies könnte für das Max-Planck-Institut

für Ornithologie mitunter keine Schwierigkeit darstellen, da ein entsprechendes Rechenzentrum zur Verfügung steht.

Eine letzte Schwierigkeit stellen die zuvor evaluierten verschiedenen Skalen dar. Die Makro-, Meso- und Mikroskala sind nur realisierbar mittels einzelner Darstellungen unterschiedlich grosser Ausschnitte des Datensatzes. Ein einfaches Herein- und Herauszoomen wie bei ArcGIS oder bekannten Online-Kartenportalen ist in R nicht möglich respektive ausschliesslich bei dreidimensionalen Darstellungen. Hier muss stets manuell eingegeben werden, welcher Ausschnitt näher betrachtet werden möchte. Etwaige Verhältnismassstäbe oder Massstabsbalken sind nicht vorhanden, ausser sie sind für jede Darstellung einzeln und individuell definiert.

6.2 Umsetzung und Ergebnisse mit ArcGIS

Die Bearbeitung mit ArcGIS und GME erlaubt eine Berechnung fast aller evaluierten Methoden bei allen Datensätzen. Die Ergebnisse zeigen ebenfalls, dass räumliche wie zeitliche Analysen möglich sind. Im Vergleich zu R kann DBSCAN mit diesen beiden Programmen allerdings nicht durchgeführt werden. Ferner ist aber das Werkzeug Line Density vorhanden, welches wiederum in R nicht zur Verfügung steht.

Die Berechnung der konvexen Hülle gelingt in ArcGIS mit dem Werkzeug Minimum Bounding Geometry, welches sich in der Data Management Toolbox befindet. Dort wird der Layer mit den Datenpunkten eingelesen und anschliessend ein Geometrietyp (hier: CONVEX_HULL) sowie wahlweise eine Gruppenoption festgelegt. Gleiches gilt für die Berechnung der MCP mit GME, nur dass das optionale Feld „unique ID field“ heisst. Abbildung 22 zeigt beide Benutzeroberflächen mit den Ergebnissen. Ferner ist anzumerken, dass diese Darstellungen ebenso wie in R für die Makroskala gedacht sind.

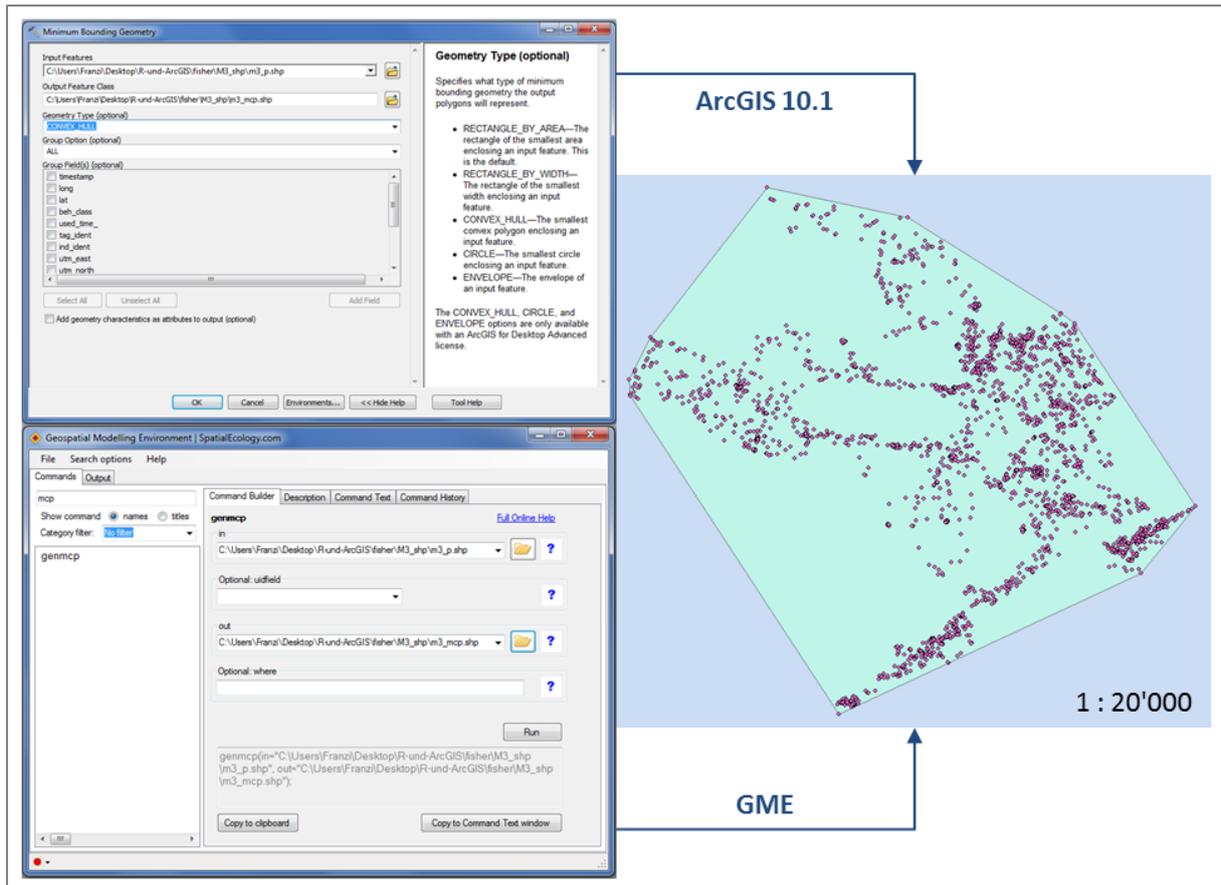


Abb. 22: MCP für das Individuum M3 mit den beiden Benutzeroberflächen.

Die Thiessen-Polygone (Voronoi) lassen sich sowohl in ArcGIS als auch mit GME berechnen. In ArcGIS heisst das Werkzeug Create Thiessen Polygons, wohingegen in GME der Befehl dem Paket in R ähnelt und die Bezeichnung `r.deldir` hat. Beide Oberflächen verlangen einen Layer mit Datenpunkten und in GME können auf Wunsch parallel die Dirichlet Tessellation und die Delaunay Triangulation berechnet werden. Für die eben genannte zweite Methode ist in ArcGIS die Spatial Statistics Toolbox notwendig. Unterschiedliche Skalen können hier mittels einfachem Herein- und Herauszoomen aufgezeigt werden. Die beiden Benutzeroberflächen zeigen identische Resultate auf und das Ergebnis mit drei verschiedenen Zoomstufen ist in Abbildung 23 dargestellt.

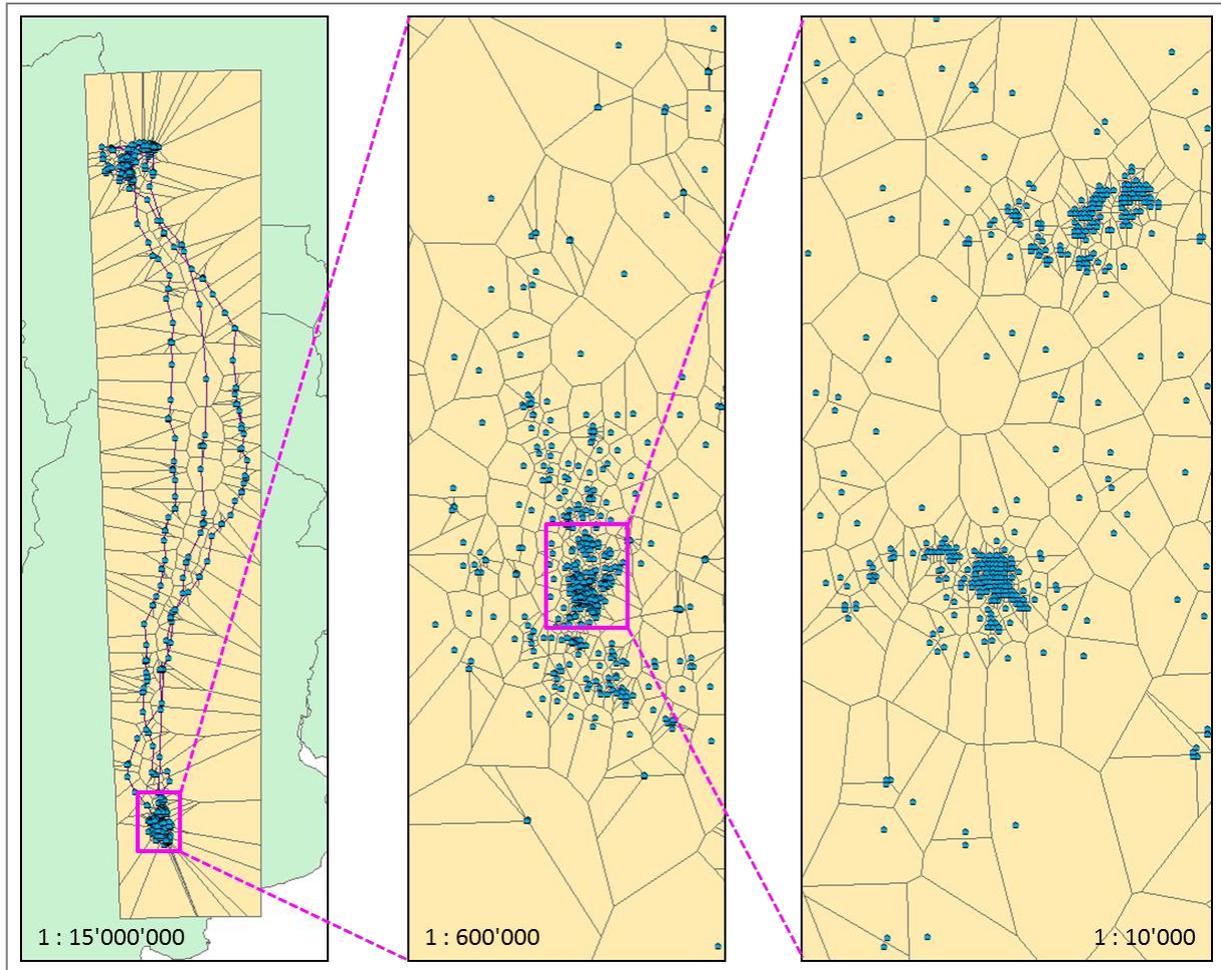


Abb. 23: Thiessen-Polygone für das Individuum Domingo in der Gesamtdarstellung (links), mit dem Brutgebiet (Mitte) und einer weiter detaillierteren Ansicht (rechts).

Die Editing Toolbox mit dem Werkzeug Generalize in ArcGIS und der Befehl `simplify` in GME dienen der Linienvereinfachung, in dem sie den Douglas-Peucker Algorithmus anwenden. In ArcGIS muss dafür zunächst eine Kopie des Layers, welcher simplifiziert werden soll, angelegt werden. Diese Kopie ist die Eingabedatei für die Benutzeroberfläche, mit der der Algorithmus ausgeführt wird. In einem weiteren Schritt wird der Toleranzwert definiert, wobei hier eine entsprechende Einheit, zum Beispiel Meter, gewählt werden kann. Bei der Benutzeroberfläche von GME ist die Einheit der Toleranz in Einheiten des Koordinatensystems vorgegeben, welche in diesem Fall Dezimalgrad sind. In diesem Fall entsprechen die verschiedenen Toleranzen genauso wie in R unterschiedlichen Skalen. Die folgende Grafik (Abbildung 24) zeigt ebenfalls die visuellen Darstellungen in ArcGIS.

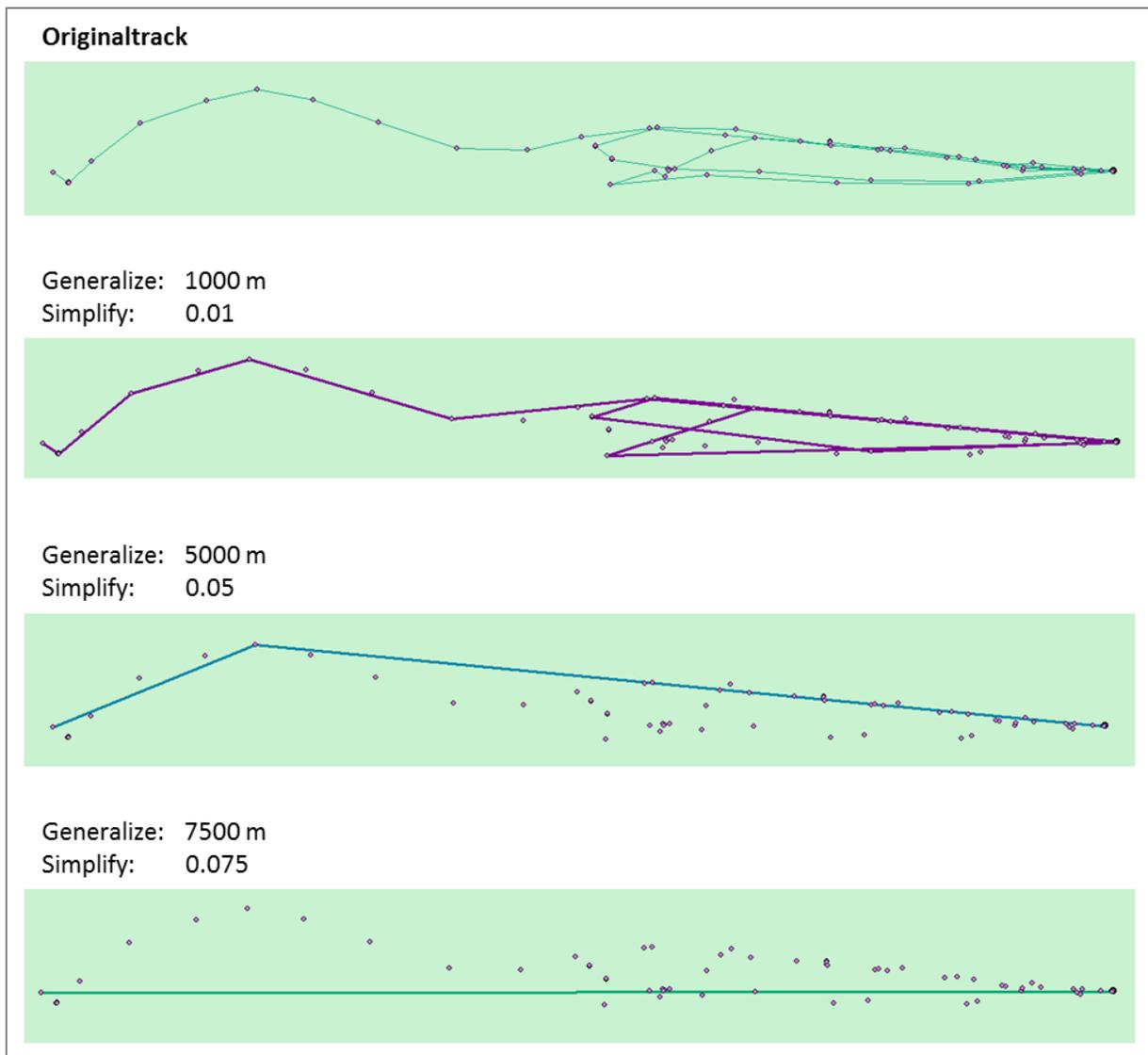


Abb. 24: Resultate des Douglas-Peucker Algorithmus mit ArcGIS und GME für das Individuum 80397.

Das Werkzeug Kernel Density, welches für die Berechnung der Kerndichteschätzung (KDE) in ArcGIS genutzt wird, befindet sich in der Spatial Analyst Toolbox in der Untergruppe Density. Als Eingabedatei können Punkt- oder Liniendaten eingelesen werden und die Angabe des „Population field“ ist obligatorisch. Die Zellengröße für die Ausgabe-Rasterdatei wird automatisch bestimmt sobald die anderen Eingaben vorgenommen werden. In GME ist der Befehl `kde` zu nutzen, damit die Kerndichteschätzung getätigt werden kann. In diesem Fall können lediglich Punktdaten verarbeitet werden. Die Definition der Bandweite, wobei sechs zur Auswahl stehen, sowie der Zellengröße für die Ausgabe-Rasterdatei sind ebenso bedeutend wie die Angabe von „kernel“, das angibt wie die Dichteschätzung berechnet werden soll. Die vorgegebene Auswahl beinhaltet *Gaussian*, *Quartic* und *Uniform*. Die verschiedenen Skalen können wie bei den Thiessen-Polygonen durch ein entsprechendes Herein- und Herauszoomen bestimmt werden. Beide Oberflächen sowie die Visualisierung sind in Abbildung 25 zu sehen.

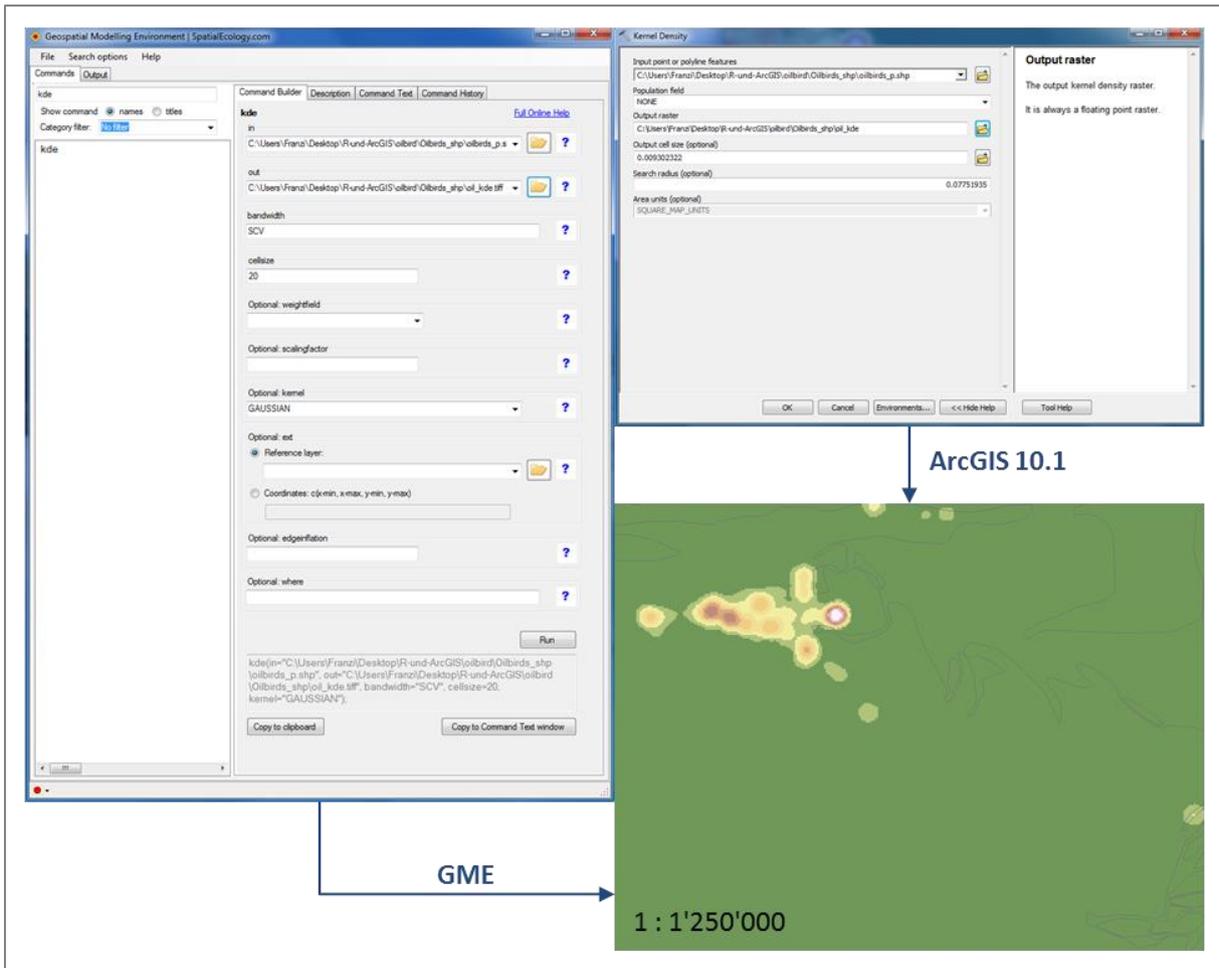


Abb. 25: Kernel Density Estimation (KDE) für die Gruppe der Fettschwalme mit den Oberflächen vom GME (links) und ArcGIS mit dem Werkzeug Kernel Density (oben rechts).

In ArcGIS steht für die Berechnung der Line Density (LineDens) in derselben Toolbox wie für die KDE das gleichnamige Werkzeug Line Density zur Verfügung. Die Benutzeroberfläche ist identisch zu der der Kernel Density. Das bedeutet, dass hier ebenfalls die Bestimmung der Eingabedatei und des „Population field“ obligatorisch sind. Auch ist die Definition der verschiedenen Skalen in gleicher Art und Weise umzusetzen. Abbildung 26 veranschaulicht die Ergebnisse für Line Density für das Individuum M3.

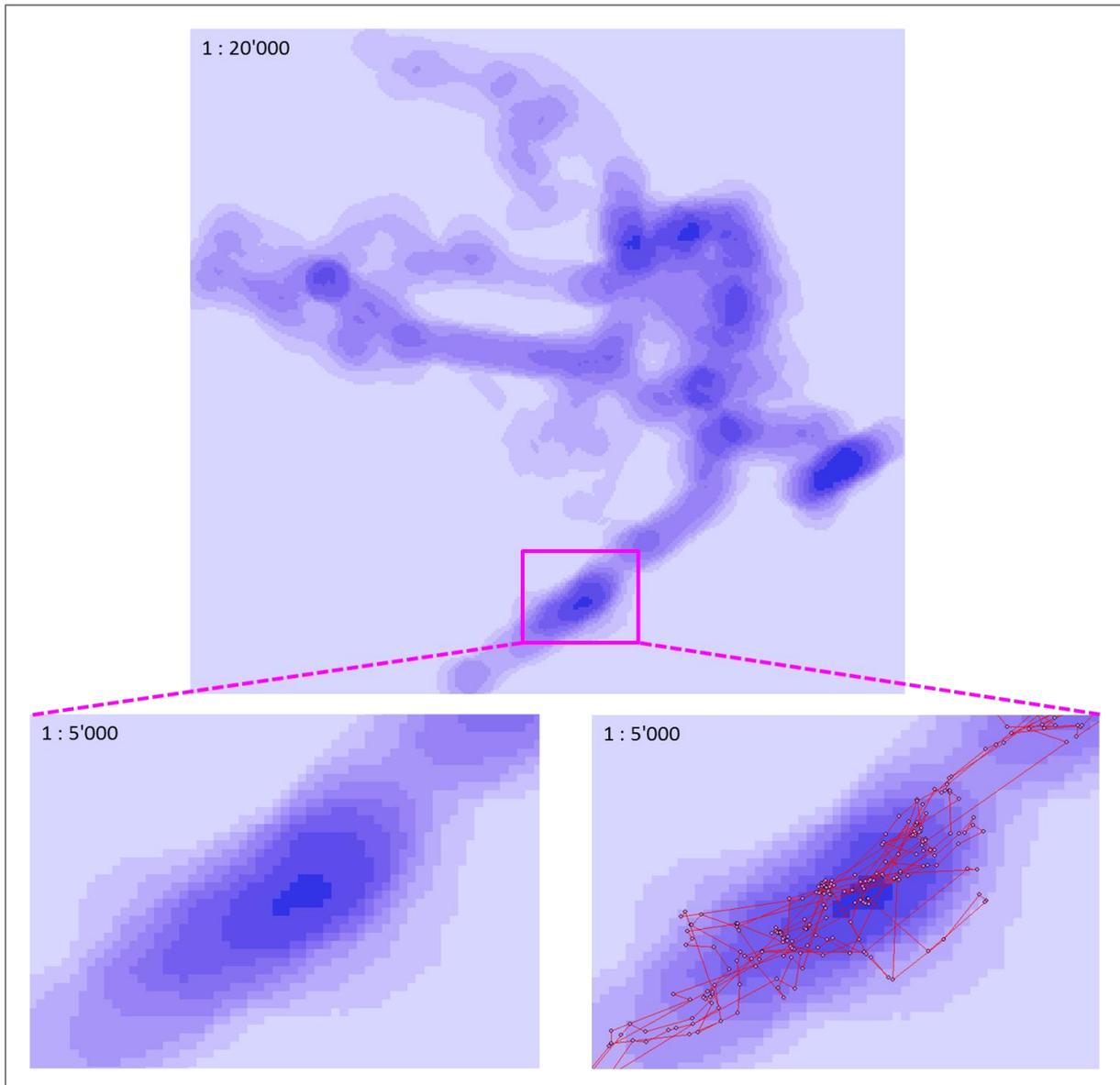


Abb. 26: Die Ergebnisse der Line Density in der Gesamtdarstellung (oben) und detaillierteren Ansichten ohne (unten links) und mit Bewegungslinie und Datenpunkten (unten rechts) für das Individuum M3.

Der k -Means-Algorithmus lässt sich in GME mit dem Befehl `kmeans` berechnen. Diesbezüglich sind die Eingabedatei, die Anzahl der Cluster, eine Liste numerischer Bereiche sowie ein maximale Anzahl an Iterationen zu definieren, ähnlich wie in R. Die erzeugte kommagetrennte Datei enthält eine Zusammenfassung der statistischen Berechnung dieses Algorithmus. Dazu zählen die Anzahl der Datenpunkte in jeder Gruppe, die errechneten Quadratsummen innerhalb der Gruppe sowie die Koordinaten der Clusterzentren in einem n -dimensionalen Raum. Dies bedeutet, dass lediglich die Zentren nach ArcGIS exportiert werden können, aber nicht ersichtlich ist, welcher Punkt zu welchem Clusterzentrum gehört. Diesbezüglich ist auch eine Festlegung passender Skalen nicht möglich. Die folgende Grafik (Abbildung 27) stellt die Benutzeroberfläche von GME mit der entsprechenden Komma getrennten Datei (.csv) sowie den exportierten Daten nach ArcGIS dar.

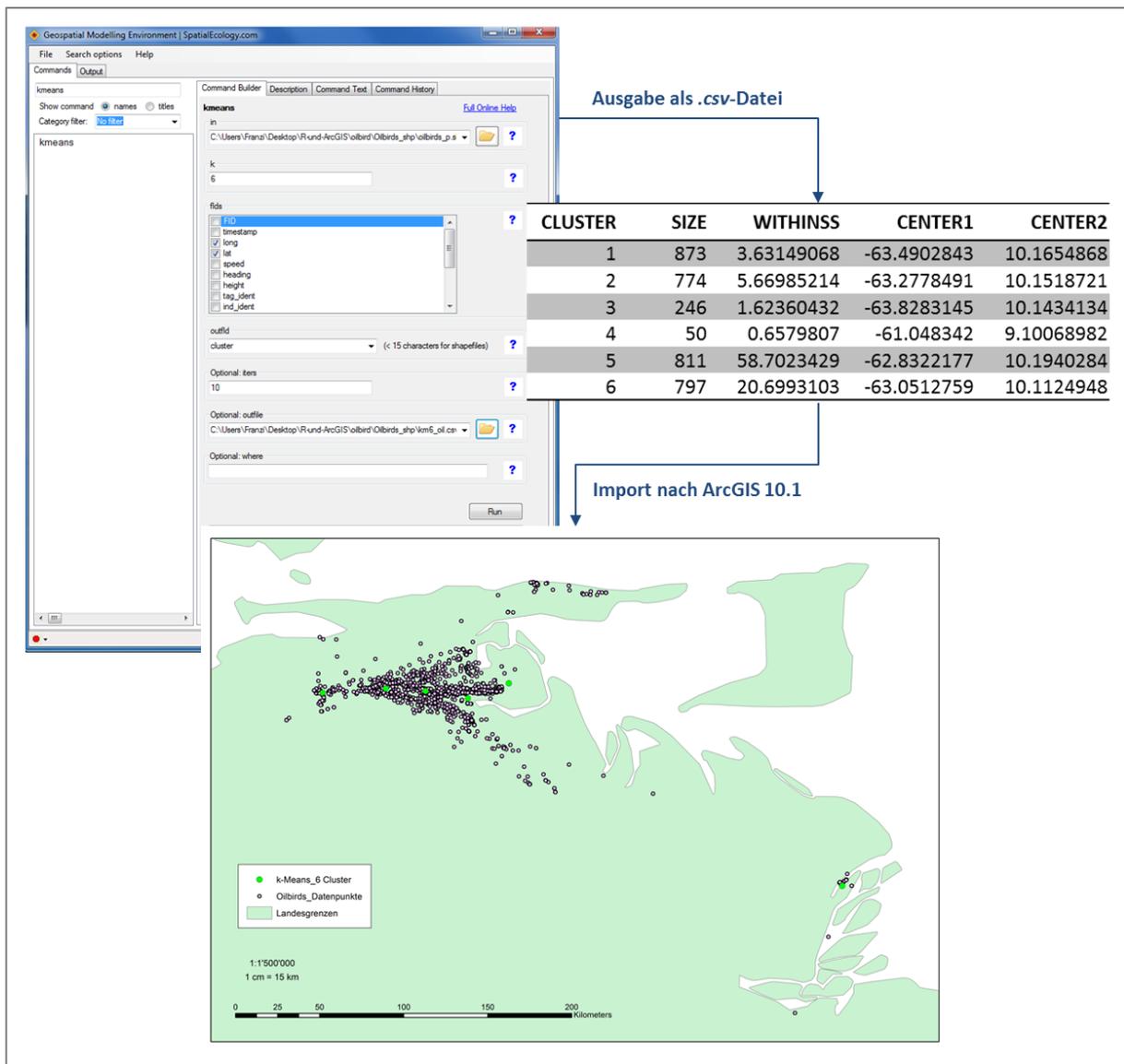


Abb. 27: Berechnung des k-Means-Algorithmus im GME (oben links) mit der entsprechenden Ausgabetable als CSV-Datei (Mitte rechts) und der finalen Darstellung in ArcGIS 10.1 (unten) für die Gruppe der Fettschwalme.

Abgesehen von diesen Methoden und Algorithmen konnte die Berechnung von DBSCAN in ArcGIS respektive GME nicht umgesetzt werden. Aufgrund dieser Tatsache sind in ArcGIS, ähnlich wie in R, auch noch andere Berechnungen durchgeführt worden. In ArcGIS besteht die Möglichkeit, eine Hotspot- und Gruppen-Analyse auszuführen, die optionale räumliche und zeitliche Einschränkungen berücksichtigen kann. Des Weiteren können in ArcGIS die Thiessen-Polygone mit einer Delaunay Triangulation verknüpft und entsprechend eingefärbt werden, wodurch sichtbar wird, welche Punkte sich mit anderen Punkte in einer Nachbarschaft befinden. Es bestehen ferner viele weitere Optionen, geographische Verteilungen und räumliche Beziehungen zu analysieren. Der zeitliche Aspekt wird allerdings meist aussen vor gelassen. Es existieren derzeit nicht viele Werkzeuge, die die Zeit berücksichtigen.

Tabelle 11 zeigt einen Überblick zu den Datensätze und entsprechenden Methoden, welche in ArcGIS und GME möglich sind. Die rot und gelb markierten Felder verdeutlichen wie schon in R mögliche Probleme und Schwierigkeiten respektive unlogische Resultate. Diese Vorfälle werden im folgenden Abschnitt 6.2.1 detailliert erörtert.

Tab. 11: Überblick der Durchführbarkeit der Methoden und Datensätze in ArcGIS und GME (Grün = gut durchführbar, Gelb = eingeschränkt, Rot = nicht realisierbar)

Methode	Migration			Nahrungssuche		Korridor	
	Butterball	Domingo	Gruppe	80397	Gruppe	M3	Gruppe
MCP	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
chull	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
Voronoi	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Grün	Grün
DP	Grün	Grün	Rot	Grün	Rot	Gelb	Rot
KDE	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
LineDens	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
k-Means	Gelb	Gelb	Rot	Gelb	Gelb	Gelb	Gelb

6.2.1 Auswertung: Probleme und Interpretation

Die Probleme und Schwierigkeiten sind mit den gleichen Farben gekennzeichnet wie bei der Übersicht in R. Die grün markierten Felder zeigen keine etwaigen Umstände bei der Ausführung der Methoden. Die gelb gekennzeichneten Felder beinhalten keine logischen Lösungen und die mit Rot registrierten Felder heben mögliche Probleme respektive unzureichende Realisierungen hervor.

In ArcGIS und GME sind bei der Bewegungsart Migration die gleichen Komplikationen aufgetreten wie schon in R. Die Berechnung der MCP, der konvexen Hülle sowie der Thiessen-Polygone (Voronoi) ist bei diesem grossen Datensatz gehaltlos. Für eine hinreichende Darstellung müsste ebenfalls wie zuvor in Abschnitt 6.1.1 erwähnt, eine entsprechende Unterteilung des Datensatzes durchgeführt werden. Demzufolge ist auch hier eine Berechnung aller drei Methoden umsetzbar, doch beinhalten sie wie in R gewisse Einschränkungen in dem Gehalt der Aussagekraft.

Der Douglas-Peucker (DP) Algorithmus ist auch in ArcGIS und GME bei allen Gruppen, egal welcher Bewegungsart angehörig, nicht überzeugend und ausführbar. Die jeweils vorinstallierten Algorithmen berücksichtigen ebenfalls eine chronologische Abfolge der Datenpunkte, was für die Berechnung bei einer ganzen Gruppe wenig sinnvoll ist. Auch hier wäre zunächst eine Unterteilung in entsprechende Regionen wertvoll sowie eine Clusterbildung auf Basis der vorliegenden Trajektorien. Dieser Algorithmus ist wie schon zuvor im gleichnamigen Abschnitt in R (Abschnitt 6.1.1) beschrieben, für eine Analyse des Korridorverhaltens, gleich ob Individuum oder Gruppe, ungeeignet.

Die Berechnung von k -Means zeigt grundlegende Einschränkungen bei allen Datensätzen sowie Probleme für die Gruppe des Migrationsverhaltens. Bei den gelb markierten Feldern ist die Berechnung schnell und einfach durchführbar, doch beinhaltet das entsprechende Ergebnis lediglich die Clusterzentren. Es existieren somit keine Hinweise, welche Punkte welchem Clusterzentrum zugehörig sind. Demzufolge ist das Ergebnis wenig wertvoll respektive beinhaltet dies eine Einschränkung bei der weiteren Untersuchung. Das mit Rot gekennzeichnete Feld in der Methode k -Means konnte nicht berechnet werden, da auch hier der vorhandene Arbeitsspeicher für die Durchführung zu klein ist. Dennoch ist fragwürdig, ob das errechnete Ergebnis nützlich gewesen wäre.

Die Schwierigkeit in der Darstellung der Makro-, Meso- und Mikroskala, wie sie in R zugegen ist, kann in ArcGIS nicht als Problem benannt werden, da diese Skalen durch entsprechendes Zoomen definiert

werden können. Lediglich die zeitlichen Skalen sind problematisch bei entsprechenden Methoden zu berücksichtigen.

6.3 Zusammenfassende Ergebnisse

Beide Programme können durch die evaluierten Methoden vertiefte ökologische Analysen und Untersuchungen von Bewegungen jeglicher Organismen angemessen unterstützen. In R sind mehr Möglichkeiten vorhanden, verschiedenste Berechnungen auszuführen und an individuelle Gegebenheiten anzupassen. Lediglich die Grafiken sind etwas kompliziert in der Erstellung respektive einer passenden Einfärbung bestimmter Elemente. Generell sind alle Methoden mit Ausnahme der Line Density gut und einige mit gewissen Einschränkungen durchführbar. In ArcGIS und mit dem Zusatztool GME können ebenfalls fast alle Methoden umgesetzt werden. Die einzigen Ausnahmen sind hier der DBSCAN-Algorithmus und die Mittelwertberechnung. Die Mittelwertberechnung für einen Tag oder Stunden pro Tag wird in ArcGIS nicht berechnet, sondern durch entsprechende Filter ermittelt. Dennoch ist in der abschliessenden Zusammenfassung diese Methode als „nicht vorhanden“ gekennzeichnet (Tabelle 12). Die grafische Darstellung der Elemente und des Hintergrundes ist in ArcGIS einfacher und schneller als in R.

Beide Programme zeigen demzufolge gewisse Vor- und Nachteile auf. Liegt das Interesse des Wissenschaftlers auf vielen Berechnungen und statistischen Analysen, ist R besser geeignet als ArcGIS. Soll jedoch die Möglichkeit bestehen, mehrere unterschiedliche Hintergrundinformationen, wie zum Beispiel ein Höhenmodell, Landnutzungsflächen oder Reliefs dem entsprechenden Datensatz hinzuzufügen, so eignet sich ArcGIS eher. Dabei können durch einfaches Anwählen nützlicher Informationen, welche in Layern vorliegen, zugeschaltet werden. Für eine allumfassende Betrachtung der Datensätze ist eine Kombination beider Programme unumgänglich und empfehlenswert.

Die anschliessende Tabelle 12 zeigt eine Zusammenfassung der Methoden und Programme. Sie ist an die vorherigen Übersichten der Bearbeitungsprogramme angepasst. Alle grün markierten Felder sind problemlos ausführbar und weisen keine Einschränkungen auf. Die mit Gelb vermerkten Felder zeigen einige Schwierigkeiten in der Umsetzbarkeit, doch sind sie generell möglich. Die rot gekennzeichneten Felder deuten auf etwaige Probleme hin respektive ist deren Durchführung nicht möglich oder sinnlos. Die grau markierten Felder veranschaulichen das Nichtvorhandensein dieser Methoden respektive, wie zuvor schon erwähnt, wird die Umsetzung in einer anderen Art und Weise ausgeführt.

Tab. 12: Zusammenfassung der Methoden und Programme (M = Migration, N = Nahrungssuche, K = Korridor; Grün = gut durchführbar, Gelb = eingeschränkt, Rot = problematisch, Grau = nicht vorhanden).

Methode	R			ArcGIS			GME		
	M	N	K	M	N	K	M	N	K
MCP	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün
chull	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün
Voronoi	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün	Gelb	Grün	Grün
DP	Gelb	Gelb	Rot	Gelb	Gelb	Rot	Gelb	Gelb	Rot
KDE	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
LineDens	Grau	Grau	Grau	Grün	Grün	Grün	Grau	Grau	Grau
k-Means	Gelb	Grün	Gelb	Grau	Grau	Grau	Rot	Gelb	Gelb
DBSCAN	Gelb	Grün	Gelb	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau
mean	Grün	Grün	Grün	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau	Grau

Die Auswahl für die anschliessende Expertenbefragung basiert auf Methoden, die bei den entsprechenden Publikationen der Datensätze nicht angewendet wurden. Zum einen wird die KDE für die Evaluation ausgewählt, da diese Methode von den Ergebnissen und der Darstellung den Brownschen Brücken ähnelt und den Experten vertraut ist. Dennoch kann die KDE ein guter Vergleich sein und andere Resultate aufzeigen. Zum anderen wird der Douglas-Peucker Algorithmus genommen, da er vor allem bei der Darstellung von Bewegung auf grossen Distanzen in vereinfachter Form hilfreich sein kann und dies in der Anforderungsanalyse durch die Fokusgruppe angemerkt wurde. Des Weiteren ist die Entscheidung auf Line Density gefallen, da diese Methode die Analyse des Korridorverhaltens in geeigneter Weise gut unterstützen kann. Abschliessend sind beide Clusteralgorithmen, *k*-Means und DBSCAN, gewählt worden, da sie vom Ansatz her ähnliche Gruppierungen der Punkte vornehmen, doch auf verschiedenen Eingabeparametern beruhen und dadurch sehr vielfältige Ergebnisse präsentieren können. Für die Expertenevaluation sind alle drei Programme sehr zentral und die Wahl und Darstellungen der Methoden werden im folgenden Kapitel 7 detailliert beschrieben.

Die Ausarbeitung des Prototyps, basierend auf der beschriebenen Methodenauswahl, soll den WissenschaftlerInnen die Möglichkeit eröffnen, auf entsprechenden Skalen und anhand der Bewegungsart des Tieres ihre Forschung mit nützlichen Techniken zu unterstützen. Dabei ist vor allem die Wechselbeziehung zwischen Skalen und Aggregations- und Visualisierungsmethoden sehr zentral und zudem grundlegend für vertiefende Untersuchungen. Bezüglich der getroffenen Methodenwahl sollen Aggregationen auf verschiedenen Skalen durchgeführt werden. Dadurch sollen Vor- und Nachteile auf Basis der Expertenevaluation (Kapitel 7) ermittelt werden. Dies soll dazu führen, den existierenden Prototyp zu verbessern, sodass ein Entscheidungsbaum erarbeitet werden kann, der die Forschenden bei ihren Analysen und Untersuchungen unterstützen kann (Unterkapitel 7.4).

7 EXPERTENEVALUATION

Die Expertenevaluation dient der qualitativen Datenerhebung und wird meist in Form eines Interviews mit entsprechenden Fragen durchgeführt. Dabei besteht dennoch die Möglichkeit, seitens der Experten frei und „in selbst gewählter (Fach-)Terminologie“ zu antworten (MIEG & NÄF, 2005: 4). Die Experten verfügen über ein erfahrungsgestütztes Wissen, wodurch die Fragen sachgerecht beantwortet werden können (MIEG & NÄF, 2005).

Das Ziel der in dieser Arbeit durchgeführten Expertenbefragung ist eine qualitative Beurteilung der visualisierten Ergebnisse der aggregierten Bewegungsdatensätze. Es geht vor allem um die Evaluation der Visualisierungen anhand statischer Abbildungen, in denen versucht wurde, möglichst viele Aspekte der Anforderungsanalyse umzusetzen. Die Resultate dieser Befragung sollen Rückschlüsse auf die zuvor erarbeiteten Methoden erlauben sowie zeigen, welche Aggregationsmethode mit welcher Skala am besten harmoniert respektive problematisch ist. Eine abschliessende Verknüpfung zwischen Anforderungsanalyse, konzeptuellem Entwurf, umgesetztem Prototyp sowie dieser Expertenevaluation soll die Bedeutung einer multiskalaren Darstellung von verschiedenen Skalen und entsprechenden Methoden aufzeigen.

7.1 Umsetzung

Für die qualitative Beurteilung und Evaluation der aggregierten Tierbewegungsdatensätze wurden die exemplarischen, statischen Visualisierungen von acht WissenschaftlerInnen des Max-Planck-Instituts für Ornithologie in Radolfzell, Deutschland, begutachtet. All diese Experten sind dabei mit einer zukünftigen Nutzergruppe gleichzusetzen, da sie passende Forschungsschwerpunkte, wie etwa Bewegungsökologie, Soziale Migration, Tier-Umwelt-Interaktionen oder aber eine computergestützte Ökologie abdecken und stets auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen arbeiten. Alle WissenschaftlerInnen werden in den folgenden Abschnitten als Experte bezeichnet, ohne eine Auskunft über das jeweilige Geschlecht zu geben.

Die Evaluation basiert auf drei verschiedenen Testdatensätzen, die jeweils eine andere Bewegungsart zum Schwerpunkt haben, und auf entsprechenden Fragenblöcken, die versuchen, eine optimale Beurteilung der visualisierten Ergebnisse zu ermöglichen. Die Expertenevaluation hat sich dabei an dem Leitfaden für Experteninterviews von MIEG & NÄF (2005) orientiert und besteht aus drei Teilen: den Einstiegsfragen, den drei Fragenblöcken sowie einer abschliessenden Danksagung. Diese drei Teile sowie die jeweiligen Testdatensätze sind in dem Unterkapitel 7.2 näher erklärt.

7.2 Testdatensätze und Fragebogen

Es gibt drei verschiedene Testdatensätze, die in Kapitel 3 ausführlich beschrieben sind. Dennoch sollen sie hier nochmals kurz vorgestellt werden: (1) Truthahngeier mit Migrationsbewegungen, (2) Fettschwalme auf Nahrungssuche und (3) Fischermarder mit Korridorverhalten. Jeder Datensatz ist in Individuum und Gruppe unterteilt, wobei entsprechende Aggregationsmethoden ausgewählt und die Ergebnisse visualisiert wurden.

Der Fragebogen ist wie zuvor erwähnt in drei Teile gegliedert. Bevor mit der Evaluationen begonnen wurde, haben die Experten sechs **Einstiegsfragen** beantwortet, wobei sie unter anderem nach ihrem Forschungsschwerpunkt sowie die in ihrer Forschung zugrundeliegenden Tierart, ihren Kenntnissen hinsichtlich ArcGIS und R und einem entsprechendem Hintergrundwissen befragt wurden. Der Fragebogen zu diesen Einstiegsfragen ist im Anhang B zu finden. Die anschliessenden **Fragenblöcke** beinhalten verschiedene Aggregationsmethoden, die von den Experten evaluiert werden. Fragenblock A bezieht sich auf eine einzige Methode (KDE) für alle drei Bewegungsarten, sowohl für einzelne Individuen als auch Gruppen. Fragenblock B zeigt individuelle Darstellungen (Douglas-Peucker Algorithmus, k -Means und Line Density) für Individuen zweier Bewegungsarten und Fragenblock C zeigt spezifische Illustrationen (k -Means und DBSCAN) für die Gruppe einer Bewegungsart.

Die Fragenblöcke sind für die qualitative Beurteilung an der Klassifikation von EHRLIHOZLER (1996) orientiert. Die Experten wurden aufgefordert, die Darstellungen auf den entsprechenden Skalen folgendermassen zu kennzeichnen:

- Gut,
- Akzeptabel,
- Schlecht oder
- Unbrauchbar.

Des Weiteren besteht bei jeder Frage die Möglichkeit, etwaige Kommentare für gelungene oder problematische Umsetzungen zu machen und Verbesserungsvorschläge zu notieren. Abschliessend sind eine **Danksagung** für die Teilnahme an der Evaluation sowie ein Vermerk für eventuelle Nachfragen und den Erhalt einer kurzen Zusammenfassung der Ergebnisse vorzufinden.

Der gesamte Fragebogen kann im Anhang B ausführlich betrachtet werden.

7.3 Ergebnisse der Evaluation

Die Ergebnisse der Expertenevaluation basieren auf den drei Fragenblöcken mit den jeweiligen Visualisierungen. Diese sind in Abbildung 28 bis Abbildung 30 zusammengefasst dargestellt. Weiterhin ist anzumerken, dass jeweils Aggregationsmethoden für die jeweiligen Datensätze ausgewählt wurden, die im Zusammenhang mit den entsprechend existierenden Publikationen nicht durchgeführt wurden. Beispielsweise ist die Methode der Brownschen Brücken, mitunter eine der weit verbreitetsten Methoden in der Ökologie, und wurde somit in diesen exemplarischen Beispielen nicht umgesetzt.

Des Weiteren ist anzumerken, dass sich zwei der acht Experten bei der Evaluation bezüglich der genauen Beurteilung der Skalen enthalten haben. Sie sind zum einen der Meinung, dass die Methoden und Visualisierungen abhängig von der Fragestellung sind und somit gut und schlecht sein können. Zum anderen kritisieren sie, dass diese nicht für die Untersuchung der sozialen Interaktion zwischen Individuen dienlich sind, da die räumlichen und zeitlichen Aspekte wenig Einfluss auf die Analysen haben. Dementsprechend haben insgesamt sechs Experten diesen Fragebogen vollumfänglich ausgefüllt.

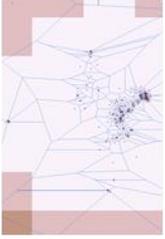
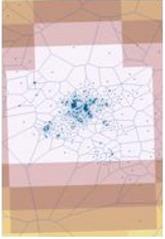
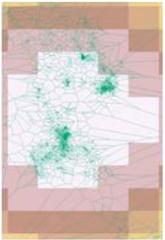
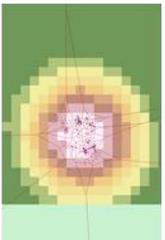
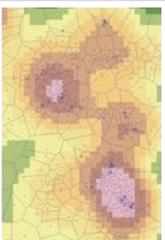
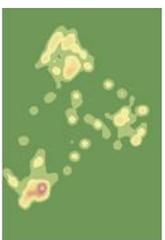
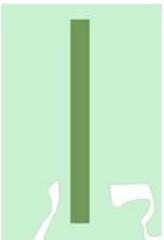
	Migration			Nahrungssuche		Korridorverhalten	
	Individuum (N)	Individuum (S)	Gruppe	Individuum	Gruppe	Individuum	Gruppe
Mikroskala							
Mesoskala							
Makroskala							

Abb. 28: Übersicht der durch die Experten evaluierten Darstellungen (Frageblock A). Auf der Makro- und Mesoskala werden ausschließlich die berechnete KDE und auf der Mikroskala zusätzlich die Thiessen-Polygone dargestellt. Alle Abbildungen basieren auf den Berechnungen in ArcGIS.

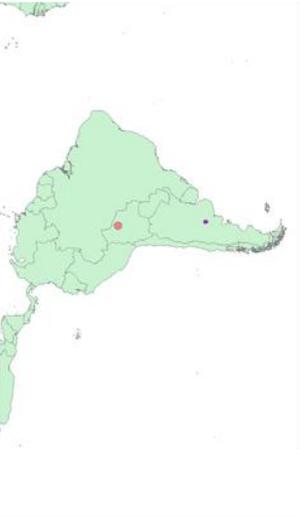
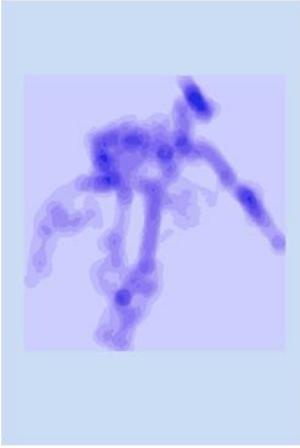
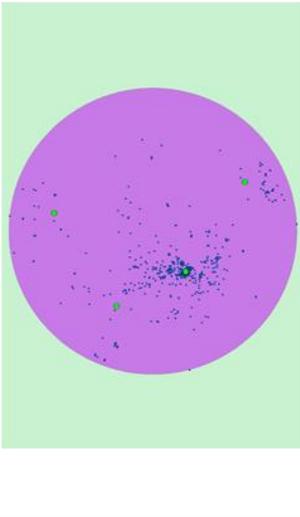
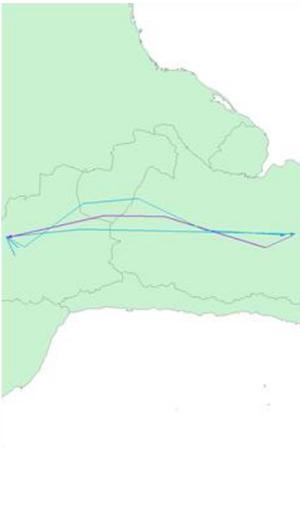
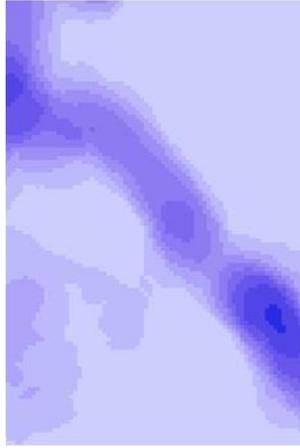
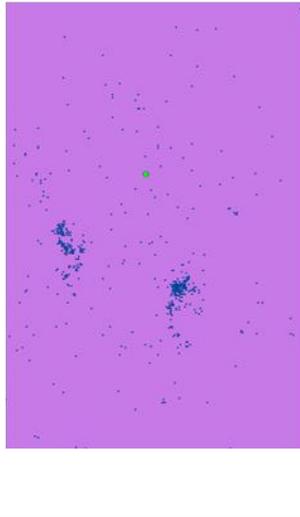
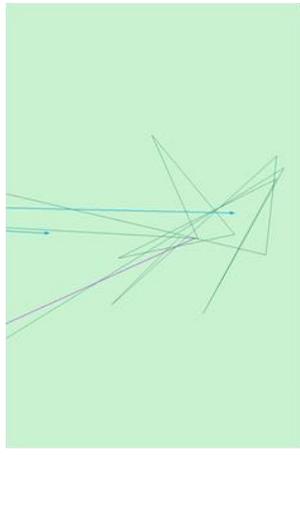
	<p>Line Density</p> 	<p>k-Means</p> 	<p>Douglas-Peucker Algorithmus</p> 
<p>Makroskala</p>			
<p>Mesoskala</p>			
<p>Mikroskala</p>			

Abb. 29: Übersicht der durch die Experten evaluierten Darstellungen (Fragenblock B). Die Ergebnisse für den Douglas-Peucker-Algorithmus und k-Means sind für das Individuum S des Datensatzes der Migrationsbewegung und die Resultate der Line Density für das Individuum des Korridorverhaltens visualisiert worden. Die Abbildungen wurden in ArcGIS erstellt.

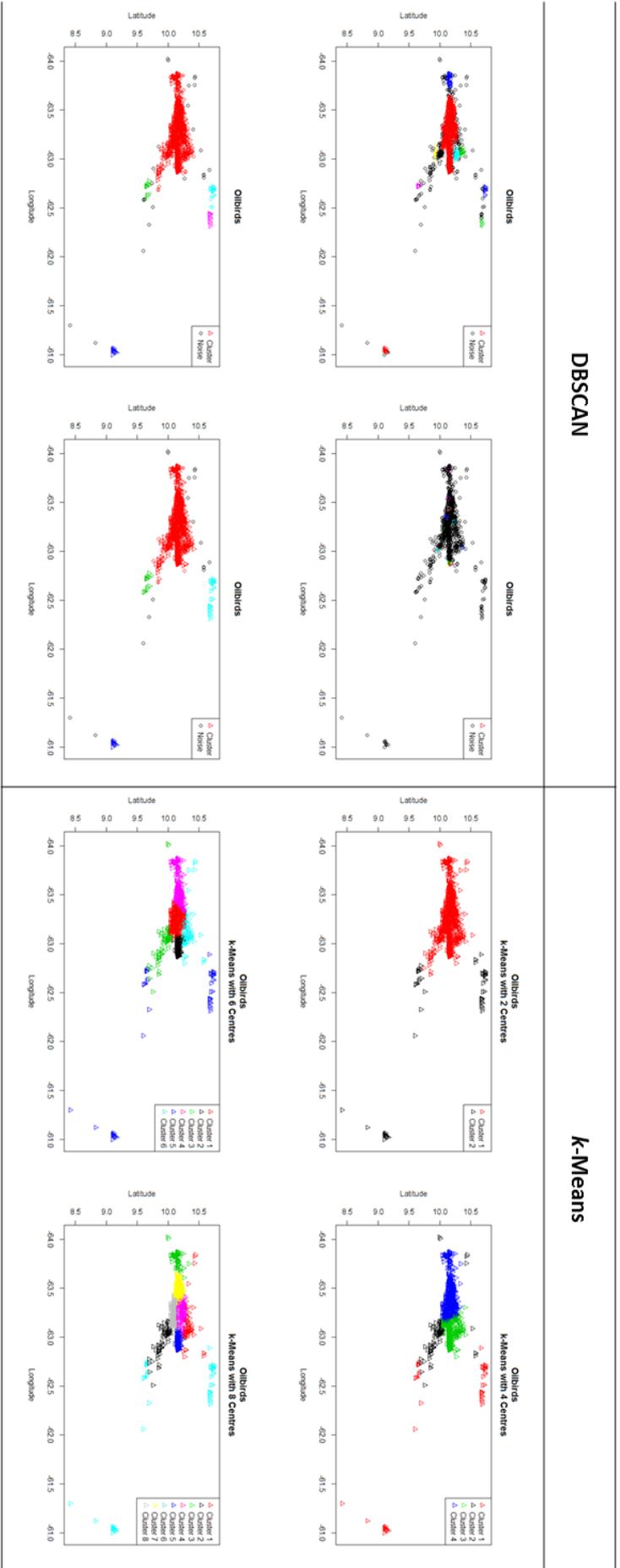


Abb. 30: Übersicht der durch die Experten evaluierten Darstellungen (Frageblock C). Die Ergebnisse des DBSCAN- und des k-Means-Algorithmus sind für die Gruppe der Fetteschwalme in R sowohl berechnet als auch visuell dargestellt worden. Diesbezüglich sind jeweils verschiedene Cluster deutlich erkennbar, wobei die Berechnungen auf verschiedenen Eingabeparametern beruhen (DBSCAN: MinPts und Eps; k-Means: k Cluster).

Basierend auf den Ergebnissen dieser Evaluation lassen sich sowohl allgemeine als auch methodenspezifische und skalenbezogene Aussagen treffen.

7.3.1 Allgemeine Aussagen

Die allgemeinen Aussagen beinhalten grundlegende Anmerkungen der WissenschaftlerInnen zu dem Vorgehen einer multiskalaren Darstellung. Der primäre Kommentar fast aller Experten ist eine entsprechende Abhängigkeit von der Tierart, der Bewegungsart und der Forschungsfrage für jede Durchführung einer Aggregation und Visualisierung. Dennoch lassen sich die allgemeinen Aussagen eher als Verbesserungsvorschläge definieren.

Die visuellen Darstellungen zeigen lediglich das angestrebte Ergebnis einer Aggregation der Daten ohne zusätzliche Informationen. Seitens der WissenschaftlerInnen wurde diesbezüglich angemerkt, dass für sie sowie für einen weiteren Gebrauch, zum Beispiel in Form einer Publikation, inhaltliche Angaben fehlen. Sie benötigen folgende Zusatzinformationen in der Abbildung, für eine zufriedenstellende Interpretation der aggregierten Daten:

- einen Massstabsbalken sowie einen Verhältnismassstab,
- geographisch relevante Informationen, wie zum Beispiel Länder, Gewässer, Gebirge etc.,
- eine passende und aussagekräftige Legende und
- eine Angabe bezüglich der Anzahl der Tiere und der Bewegungsrichtung.

Ein weiterer kritischer Punkt ist die häufige Vernachlässigung der zeitlichen Komponente. Alle angewendeten Methoden ignorieren, wenn nicht anders definiert, die Zeit. Diese ist jedoch von grosser Bedeutung in der Ökologie und somit in der Analyse von Tierbewegungsdaten. Auch dazu wurden ebenfalls einige Vorschläge seitens der Experten gemacht. Die Darstellung der zeitlichen Komponente würde sichtbarer sein, wenn zum Beispiel eine farbliche Kennzeichnung in den Bewegungspfaden (Rot für den Tag vs. Blau für die Nacht) hinterlegt respektive mindestens erkenntlich wäre, ob es eine oder mehrere Bewegungen sind.

Abschliessende allgemeine Anmerkungen seitens der Experten zeigen, dass der gewählte Abbildungsmassstab stets an den Aktionsraum des Tieres angepasst werden muss. Diesbezüglich wurden in der Evaluation exemplarisch zwei Bewegungsarten mit einer identischen räumlichen Skala dargestellt, um diese Aussage zu illustrieren und somit zu stützen (Abb. 31). Für die Untersuchung sozialer Interaktionen sind diese Methoden gemäss eines Fachexperten nicht geeignet, da sie hauptsächlich räumlich und mit wenigen Ausnahmen, zeitlich arbeiten.

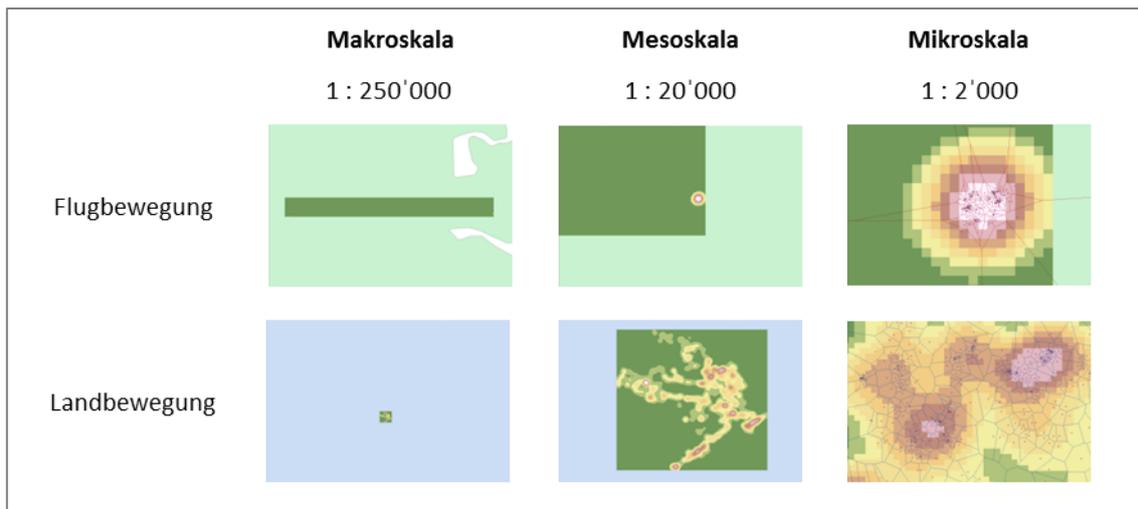


Abb. 31: Vergleich von zwei Bewegungsarten auf derselben räumlichen Skala.

7.3.2 Methodenspezifische Aussagen

Die methodenspezifischen Aussagen beziehen sich hingegen auf jeden Fragenblock einzeln und geben zu jeder Aggregationsmethode separat Auskunft. Eine zusammenfassende Übersicht der Kritik und den Verbesserungsvorschlägen ist in Tabelle 13 zu finden.

Fragenblock A: KDE und Thiessen-Polygone

Die Kerndichteschätzung (KDE) und die entsprechenden Visualisierungen haben bei den Experten relativ gut abgeschnitten. Dennoch ist anzumerken, dass die jeweiligen Abbildungen zu abgeschnitten wirken und dass diese Methode aus Sicht der Experten speziell für das Korridorverhalten von Gruppen eher ungeeignet scheint. Folglich sind etwaige Verbesserungsvorschläge gemacht worden. Zum einen müssten die Abbildungen hinsichtlich der farblichen Gestaltung überarbeitet werden. Des Weiteren ist zu empfehlen, dass Konturlinien für die entsprechenden Dichteflächen hinzugefügt und Erweiterungen des Datenbereichs vorgenommen werden. Dies würde die Interpretation der Abbildungen deutlich erleichtern. Zum anderen hat die Hälfte der Expertengruppe angemerkt, dass bei Gruppen die Anzahl Individuen vermerkt werden und vor allem bei den Truthahngiern eine klare Unterteilung der nördlichen und südlichen Population erfolgen sollte. Drei der Experten haben hinzugefügt, dass sie eine Richtungsangabe respektive eine Verbindung zwischen den Dichteflächen wünschenswert finden.

Auf der Mikroskala sind zusätzlich zu der KDE auch die Thiessen-Polygone sowie die originalen Punktdaten abgebildet. Die Hälfte der Experten fand diese Abbildungen gut, wohingegen die andere Hälfte sie als schlecht beurteilte. Dennoch gab es entsprechend der Bewegungsart Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge. Bezüglich des Korridorverhaltens der Gruppe wurde ergänzt, dass hier nur eine Makrointerpretation möglich ist. Um dies zu verbessern, ist es ratsam, in Kombination mit den Thiessen-Polygonen eine weitere feingliedrige KDE durchzuführen und entsprechende Punkte nach dem Individuum farblich zu kodieren respektive bei der Nahrungssuche und dem Korridorverhalten der Gruppe von Punkten auf Linien zu wechseln, die die Sequenz der Punkte wiedergeben. Bezogen auf die Darstellung aller drei Bewegungsarten der Individuen haben die Experten angemerkt, dass

diese Abbildungen bei der Analyse und Interpretation der Bewegung des Tieres behilflich sein können.

Fragenblock B: Douglas-Peucker Algorithmus, *k*-Means und Line Density

Der Douglas-Peucker Algorithmus hat bei der gesamten Expertengruppe eher schlecht abgeschnitten. Die meisten Aussagen beinhalten die zu grosse Abstraktheit und den damit verbundenen Informationsverlust. Diese Methode ist seitens der Experten vielleicht für Gruppen mit vielen Individuen geeignet, obwohl die Linien generell nicht zu einfach sein dürfen. Ein Experte hat hinzugefügt, dass bei der Betrachtung von Einzelpfaden jede Bewegung und Richtungsänderung sehr wichtig für die Analyse und Interpretation ist, wodurch seiner Meinung nach eine Aggregation hinfällig ist.

Bezüglich des *k*-Means-Algorithmus ist festzuhalten, dass diese Methode zwar geeignet, aber ausbaufähig ist. Fast alle Experten sind der Meinung, dass diese Methode nur dann sinnvoll ist, wenn sie mit weiteren Methoden (Douglas-Peucker Algorithmus oder KDE) verknüpft wird. Dies würde einer besseren Interpretation der Daten dienen. Aktuell wirken die Clusterzentren wahllos und die Dichte der Punkte spiegelt sich nicht wider. Nach Anmerkungen der Experten sind eine entsprechende Einfärbung der Datenpunkte zu dem jeweiligen Cluster sowie eine Richtungsangabe zwischen den Clustern wünschenswert.

Die Ergebnisse des Werkzeugs Line Density zeigen eine sehr positive Rückmeldung. Alle sechs Experten meinen, dass diese Methode für diese Bewegungsart sehr gut geeignet ist und den Kern der Studie trifft. Dennoch wurden auch hier einige Verbesserungen vorgeschlagen. So wäre eine Untersuchung von Linien bestimmter Eigenschaft, wie zum Beispiel einer bestimmten Länge oder Schnelligkeit, interessant. Zusätzliche Angaben, wie die Kennzeichnung des Start- und Endpunktes der Bewegung oder die Darstellung der entsprechenden Trajektorien könnte für die weitere Analyse und Interpretation den Daten ebenfalls interessant sein.

Fragenblock C: DBSCAN und *k*-Means

Sowohl DBSCAN als auch *k*-Means sind seitens der Experten stark von der entsprechenden Fragestellung abhängig, haben aber dennoch durchschnittlich mit akzeptabel abgeschnitten. DBSCAN ist hinsichtlich der Wahl der Eingabeparameter sehr individuell, wohingegen die Einfärbung der Datenpunkte des *k*-Means-Algorithmus fragwürdig ist respektive willkürlich scheint. Ein Experte hat angemerkt, dass DBSCAN im Vergleich zu *k*-Means ohne Vorwissen besser ist respektive sein könnte, da so erste Erkenntnisse über entsprechende Cluster gewonnen werden können. Ist jedoch ein genügendes Vorwissen vorhanden, so kann der *k*-Means-Algorithmus die Daten möglicherweise anschaulicher wiedergeben. Dennoch wurde seitens der Expertengruppe angemerkt, dass beide Methoden eine Analyse und Interpretation der Daten ermöglichen, wenn entsprechende Parameter sinnvoll definiert sind.

Tab. 13: Übersicht der Anmerkungen zu den Aggregationsmethoden.

	Methoden	Kritik	Verbesserung
Fragenblock A	KDE	<ul style="list-style-type: none"> - Abbildungen wirken abgeschnitten - für Korridorverhalten von Gruppen eher ungeeignet 	<ul style="list-style-type: none"> - Überarbeitung der Farben - Konturlinien - Verbindung/Richtung zwischen Dichteflächen - Unterteilung von Populationen - Erweiterung des Datenbereichs bei Gruppe, Anzahl Individuen
	Thiessen-Polygone (Mikroskala)	<ul style="list-style-type: none"> - Makrointerpretation 	<ul style="list-style-type: none"> - feingliedrigere KDE - farblich kodierte Punkte
Fragenblock B	Douglas-Peucker Algorithmus	<ul style="list-style-type: none"> - Linie zu einfach und abstrakt - Informationsverlust - Aggregation sinnvoll? 	
	k -Means	<ul style="list-style-type: none"> - Dichtezentren wahllos - Dichte der Punkte fragwürdig 	<ul style="list-style-type: none"> - Einfärbung der Datenpunkte entsprechend der Cluster - Richtungsangabe
	Line Density		<ul style="list-style-type: none"> - Linien bestimmter Eigenschaft - Start- und Endpunkt - Trajektorien
Fragenblock C	DBSCAN	<ul style="list-style-type: none"> - Eingabeparameter - stark abhängig von Fragestellung 	
	k -Means	<ul style="list-style-type: none"> - Wahl von k - Einfärbung fragwürdig/willkürlich - stark abhängig von Fragestellung 	

7.3.3 Skalenbezogene Aussagen

Die generelle Gliederung der Skalen wurde von der Expertengruppe als gut und sinnvoll bewertet. Die Makroskala gibt ihrer Meinung nach stets eine gute Übersicht und dient der Orientierung respektive der räumlichen Verortung des Datensatzes. Bei etwa der Hälfte der Methoden wurde jedoch hinzugefügt, dass auch zwei Abbildungen gereicht hätten, eine, die einen Überblick gibt, und eine zweite, die entsprechende Details verdeutlicht. Des Weiteren wurde angemerkt, dass eine prinzipielle Abhängigkeit von der Forschungsfrage und des Datensatzes besteht.

Die KDE ist auf allen Skalen allgemein als akzeptabel mit einem Durchschnitt von 41.5 % bewertet worden. Dennoch zeigt sich eine Tendenz nach gut (Durchschnitt 22.4 %) vorwiegend hin zur Mikroskala und nach schlecht (Durchschnitt 21.3 %) zur Mesoskala. Über die Hälfte der Experten würden zusätzliche Konturlinien sowie eine andere Farbwahl und eine Erweiterung des Datenbereichs wünschenswert finden. Auf der Makroskala ist die Darstellung der Bewegung nicht ausreichend gegeben, weshalb entsprechende Linien/Trajektorien dies ermöglichen könnten, sodass eine befriedigende Interpretation garantiert wird. Des Weiteren sollte die Makroskala an die jeweilige Bewegungsart angepasst werden, wie schon im Abschnitt 7.3.1 angemerkt wurde. Bei den Visualisierungen auf der Mikroskala sollten die groben Rasterkanten vermieden werden. Ferner wirkt hier die Bewegung zu isoliert respektive ist nicht mehr sichtbar. Bezüglich der Darstellung von Gruppen auf der Mikroskala wurde ergänzt, dass zusätzliche Abbildungen der Individuen in Form entsprechender MCP sinnvoll wären, um mögliche Überschneidungen der Nutzung des Lebensraumes zu kennzeichnen. Die Mesoskala ist meist die Skala, die bei einer räumlichen Betrachtung unter anderem zu vernachlässigen ist. Meist reichte den Experten eine Skala für den Überblick (Makroskala) und eine weitere Skala für das Aufzeigen wichtiger Details (Mikroskala).

Die Thiessen-Polygone haben, wie zuvor schon erwähnt, eher mittelmässig abgeschnitten. Ein Experte hat hinzugefügt, dass ForscherInnen es mehr gewohnt sind, auf der Mikroskala entsprechende Dichten oder Verteilungen zu sehen und keine „abstrakten“ Flächen.

Der Douglas-Peucker Algorithmus schneidet insgesamt sehr unterschiedlich ab, da der Durchschnitt aller Bewertungsoptionen (gut bis unbrauchbar) auf allen drei Skalen annähernd gleich sind. Diese Methode wurde mit 50 % als akzeptabel auf der Mesoskala und mit 60 % als schlecht und unbrauchbar auf der Mikroskala bewertet. Die Expertengruppe ist generell der Auffassung, dass diese Methode zu viele Informationen vernachlässigt. Auf der Makroskala würde die Originallinie dieselbe Information beinhalten, wenn nicht sogar informativer sein als die generalisierte Wanderoute. Gleiches gilt für die Mikroskala, obwohl hier von den Experten angemerkt wurde, dass es auf dieser Zoomstufe sinnlos ist, eine Linie zu vereinfachen. Die Mesoskala ist für den Grossteil der Experten akzeptabel, wenn ein Vergleich der Migrationsbewegung (Sommer vs. Winter respektive Frühling vs. Herbst) untersucht wird. Allgemein wurde von allen Experten angemerkt, dass eine Kombination von Douglas-Peucker mit dem *k*-Means-Algorithmus auf der Makro- und Mesoskala am nützlichsten erscheint. Der *k*-Means-Algorithmus zeigt nach Meinung der Experten auf keiner Skala eine Bewegung des Individuums. Die beste Bewertung erreicht diese Methode auf der Makroskala mit 80 % als akzeptabel bis gut, wohingegen dieselbe Prozentzahl mit schlecht und unbrauchbar auf der Mikroskala abgeschnitten hat. Die Mesoskala ist vom Grundgedanken gut, doch fehlt hier die entsprechende Einfärbung der Punkte zu dem jeweiligen Cluster. Die Darstellung auf der Mikroskala zeigt für die Expertengruppe einen wahllos gesetzten Punkt, wodurch keine Interpretation respektive Analyse der Daten getätigt werden kann. *k*-Means ist in diesem Fall unbrauchbar, da die Mikroskala eher an der räumlichen Nutzung orientiert ist und entsprechende Nutzungsintensitäten aufzeigen

soll. Beide Algorithmen (Douglas-Peucker Algorithmus und k -Means) vernachlässigen jedoch stark die zeitliche Komponente auf allen drei Skalen respektive ist sie für die Experten nicht sichtbar.

Die Visualisierung des Werkzeugs Line Density hat auf der Mesoskala mit 83.3 % als gut die beste Bewertung aller Darstellungen erhalten. Die gesamte Expertengruppe ist der Meinung, dass diese Methode sowie diese Skala den Kern der Studie vollständig trifft und der Analyse sowie Interpretation der Daten dient. Des Weiteren ist Line Density ein guter Vergleich zu KDE und ermöglicht entsprechende Vergleiche. Auf der Mikroskala wären zusätzlich der Start- und Endpunkt interessant sowie die Bewegungsrichtung des Individuums. Generell schneidet diese Methode auf der Mikroskala mit 80 % als gut und akzeptabel ab. Die Makroskala ist eher schlecht gewählt worden und dementsprechend zu vernachlässigen. Demzufolge reichen den Experten ebenfalls wie bei der KDE zwei Skalen vollkommen aus, die Mesoskala für den Überblick und die Mikroskala für eine detaillierte Betrachtung der Bewegungsart.

Eine Zusammenfassung der skalenbezogenen Aussagen ist in Tabelle 14 und die allgemeine Bewertung der Skalen mit prozentualen Angaben ist in Abbildung 32 zu finden.

Tab. 14: Übersicht der Anmerkungen zu den entsprechenden Skalen (M = Migration, N = Nahrungssuche, K = Korridor, S = Stopp).

Methode		Makroskala	Mesoskala	Mikroskala
KDE	M	– gute Übersicht	– Konturlinien ergänzen – Datenbereich erweitern	– Rasterkanten vermeiden
	N	– gute Übersicht	– Konturlinien ergänzen – Datenbereich erweitern	– Rasterkanten vermeiden
	K	– sinnlos – wenig informativ	– gute Übersicht	– Rasterkanten vermeiden – Ergänzung mit MCP
Thiessen-Polygone	M			– für sehr dichte Gebiete gut – Individuen farbkodieren
	N			– Linien anstelle von Punkten
	K			– Linien anstelle von Punkten
Douglas-Peucker Algorithmus	M	– zu einfach/abstrakt	– akzeptabel, aber Farblegende	– sinnlos
k -Means	S	– Verbindung/Richtung zw. Flächen	– generell gut, aber zusätzliche Einfärbung der Punkte	– unbrauchbar
Line Density	K	–	– gute Übersicht	– gut, aber zusätzlich mehr Details/Info

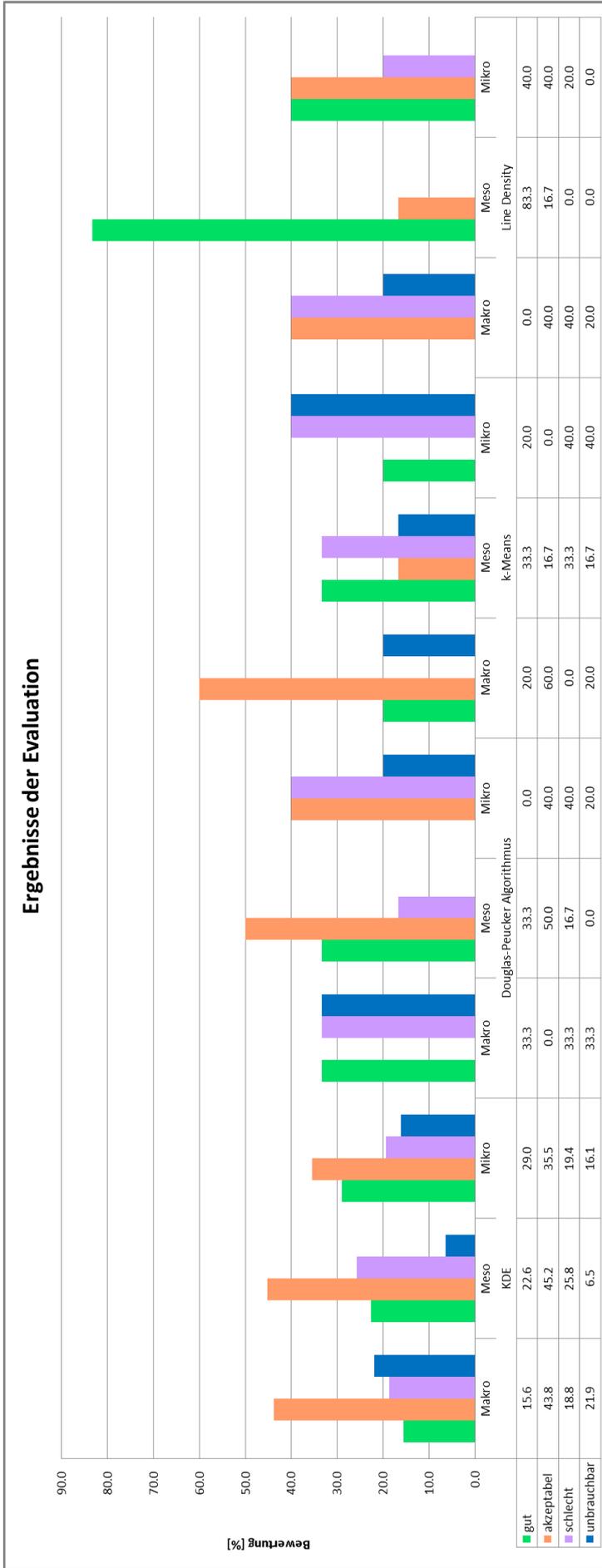


Abb. 32: Ergebnisse der Bewertung der Skalen mit prozentualen Angaben.

7.4 Verbindung zwischen Methodik, Prototyp und Evaluation

Bezogen auf die literaturgestützte und nutzerbasierte Anforderungsanalyse sowie den konzeptuellen Entwurf wurde ein entsprechender Prototyp entwickelt, wobei dies den Ausgangspunkt für die Expertenbefragung darstellt. Die Verbindung zwischen den einzelnen Ausarbeitungsschritten wird hier beschrieben und bewertet.

Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse zeigen eine zielführende Brauchbarkeit einer skalenabhängigen Datenaggregation. Dabei kann die Einteilung der Skalen dennoch variieren, wobei entsprechende Hintergrundinformationen zu geben sind. Das Zusammenspiel von Daten, Skalen und Informationen ist von besonderem Interesse für eine vertiefte Analyse der Bewegung von Organismen. Darauf aufbauend wurde ein konzeptueller Entwurf erarbeitet, in dem versucht wurde, entsprechende Anforderungen zu berücksichtigen und die Methoden den jeweiligen Skalen zuzuordnen. Dieser Entscheidungsbaum mit seiner multiskalaren Darstellung wurde in einem nächsten Schritt zu einem Prototyp weiter entwickelt. Dabei ist dies rein exemplarisch in Form einzelner statischer Visualisierungen mit zwei verschiedenen Softwareprogrammen umgesetzt worden. Die ständige Beachtung der Skala und Bewegungsart ist der zentrale Aspekt des konzeptuellen Entwurfs und des Prototyps. Die anschließende Expertenevaluation konnte bestimmte Annahmen bestätigen, wohingegen andere Erwartungen widerlegt worden sind. Die Bewertung der Nutzbarkeit basiert ausschliesslich auf den Aussagen der Expertengruppe.

Mit einem geographisch-kartografischen Hintergrundwissen scheint eine Linienvereinfachung auf der Makro- und Mesoskala nützlich und sinnvoll. Des Weiteren wurde diese Vermutung durch entsprechende Aussagen der Fokusgruppe im Rahmen der Anforderungsanalyse gestützt. Die Anmerkungen im Zuge der Expertenevaluation zeigen jedoch das genaue Gegenteil (Abb. 33). Ihrer Meinung nach ist der Douglas-Peucker Algorithmus auf diesen Skalen eher unwichtig respektive nur in Kombination mit anderen Methoden überzeugend. Demzufolge kann die Vereinfachung von Linien weiterführende Analysen ihrer Meinung nach nicht unterstützen und scheidet demzufolge aus dem Entscheidungsbaum aus (Abb. 33). Selbst bei der Nachfrage, ob diese Methode für einfache Visualisierungen genutzt werden könnte, merkte die Hälfte der Experten an, dass sie es sich vielleicht vorstellen könnten, aber nur in Verbindung mit weiteren Aggregations- oder Analysemethoden. Die andere Hälfte fand diese Methode zu abstrakt und die Generalisierungen zu einfach.

Ein weiteres Beispiel ist die Bildung der MCP auf der Makroskala. Zu Beginn ist sie lediglich für die Bewegungsart Nahrungssuche evaluiert worden. Es zeigte sich jedoch, dass sie auch für das Korridorverhalten sinnvoll genutzt werden kann, um beispielsweise Überschneidungen von Aktionsräumen verschiedener Individuen zu betrachten. Diesbezüglich ist der Entscheidungsbaum entsprechend zu ergänzen (Abb. 33). Des Weiteren beweisen sich die verschiedenen Clusteranalysen auf der Mikroskala als wertvoll. Bei bestimmten Bewegungsarten zeigte sich jedoch, dass diese Methoden der Clusterbildung auch auf den anderen Skalen genutzt werden können. Zum Beispiel ist die Berechnung der KDE auf der Meso- und Makroskala ebenso sinnvoll, um beispielsweise schon im Voraus mögliche Hotspots zu erkennen. Ferner können auch der *k*-Means- und DBSCAN-Algorithmus auf allen drei Skalen angewendet werden. Somit ist die Verwendbarkeit der Methoden der Clusteranalyse entsprechend zu ändern und im Entscheidungsbaum anzupassen (Abb. 33). Lediglich die Thiessen-Polygone haben sich auf der zuvor evaluierten Mikroskala bewährt.

Demzufolge ist der Entscheidungsbaum im Anschluss an die Evaluation überarbeitet worden und wird in Abbildung 33 in seiner ursprünglichen und neuen Form präsentiert.

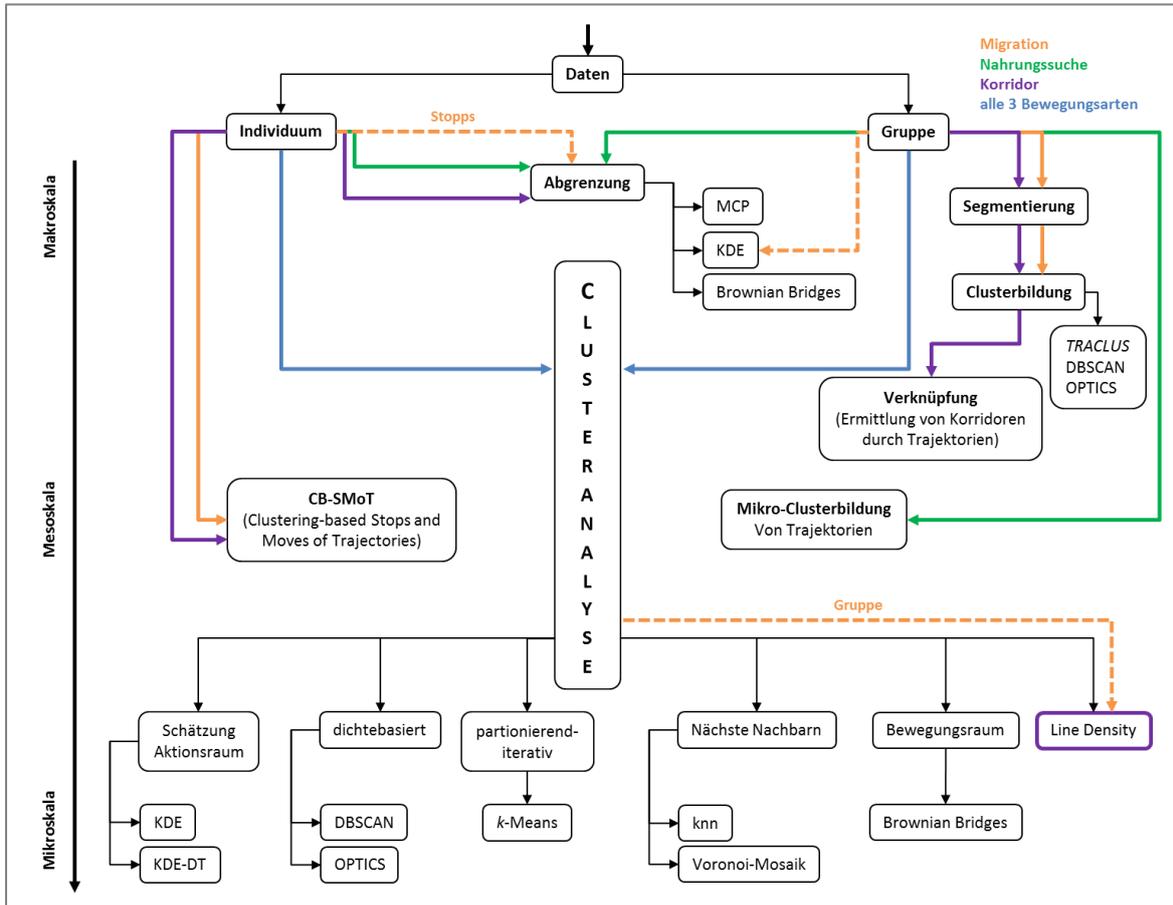
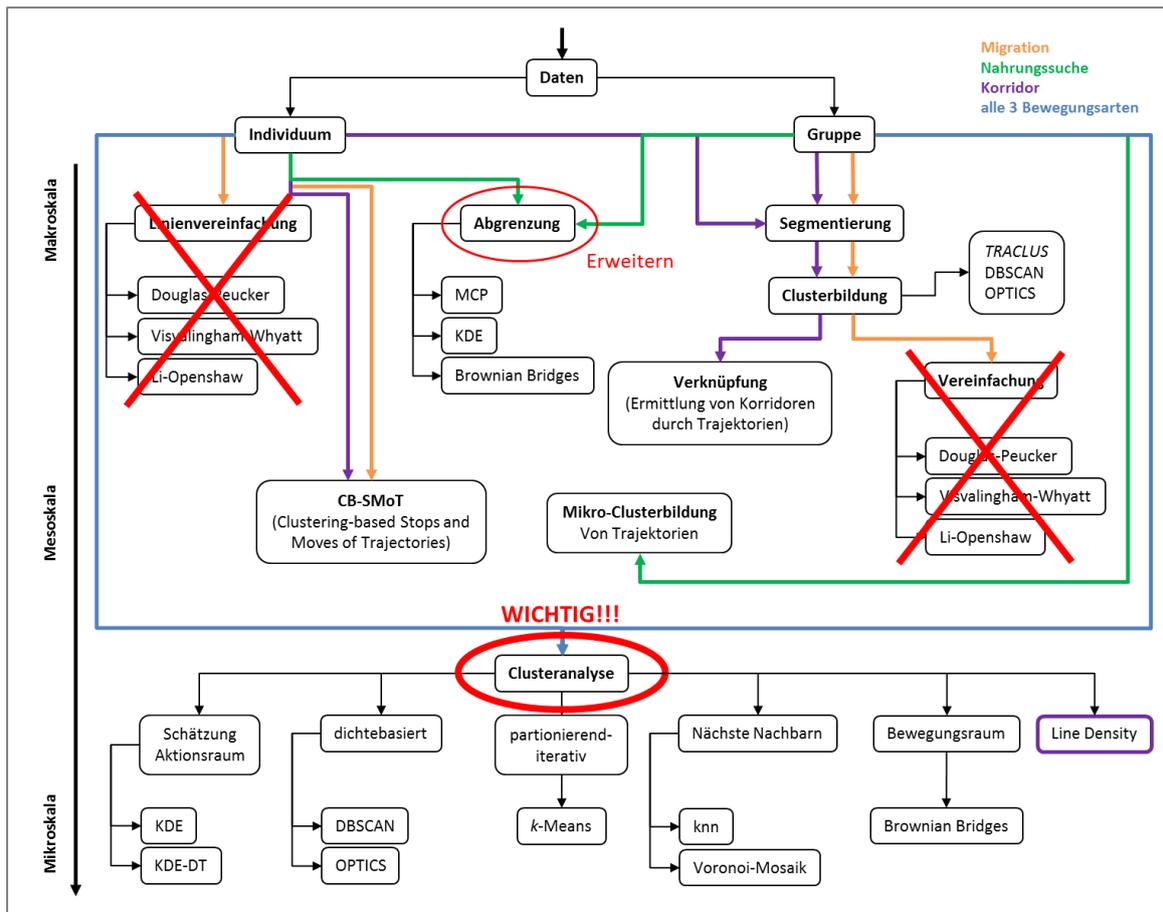


Abb. 33: Modifikation des Entscheidungsbaumes. Der ursprüngliche konzeptuelle Entwurf (oben) und die Überarbeitung mit entsprechenden Korrekturen (unten).

Der Entscheidungsbaum wurde auf den entsprechenden Skalen um weitere Möglichkeiten der Aggregation ergänzt respektive gekürzt. Diesbezüglich haben die Clusteranalysen jetzt eine sehr zentrale und wichtige Bedeutung. Sie sind auf allen Skalen brauchbar und unterstützen dadurch entsprechende Analysen und Untersuchungen. Die Algorithmen der Linienvereinfachung sind zu vernachlässigen und wurden aus dem Entscheidungsbaum entfernt. Nach Meinung der Experten machen diese Methoden wenig Sinn, da schliesslich die Bewegung von grosser Bedeutung ist und somit keine Simplifizierung benötigt. Durch diese Änderungen wirkt der Entscheidungsbaum schlanker und gestattet individuelle Alternativen für eine weiterführende Analyse der Bewegung verschiedener Organismen. Die Abgrenzung des Aktionsraumes auf der Makroskala ist für Individuen der Nahrungssuche und des Korridorverhaltens sowie für etwaige Stopps der Migrationsbewegung wichtig und wurde durch entsprechende Pfeile ergänzt. Die KDE für die Gruppe der Migrationsbewegung hatte auf der Makroskala ebenfalls positive Resonanz durch die Experten. Aus diesem Grund ist dies durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Die anderen beiden Methoden sind für diese Gruppe nicht relevant. Des Weiteren ist Line Density nicht mehr nur für das Korridorverhalten interessant, sondern auch für die Gruppe der Migrationsbewegung. Diesbezüglich können Überschneidungen der Wanderungswege ermittelt werden und aufzeigen, welche Abschnitte der Routen wichtig für die Tiere sind. Für die Bewegungsart der Nahrungssuche ist dies nicht relevant, da ihr Aktionsraum begrenzt ist und das Ergebnis ähnlich der KDE ist. Einige Methoden, wie beispielsweise CB-SMoT oder Mikro-Clusterbildung, sind nicht getestet worden, da diese Anwendungen andere Programme voraussetzen. Dennoch wurden diese Algorithmen beibehalten, da sie möglicherweise auf diesen Skalen dienlich sein können. Die jeweiligen Visualisierungen können mit den Programmen R und ArcGIS an die individuellen Vorstellungen angepasst und geändert werden. Ferner bilden dieser Entscheidungsbaum und die passenden Programme eine gute Basis und können den WissenschaftlerInnen bei ihren Analysen dienen.

Diese Grafik einer multiskalaren Entscheidungshilfe beinhaltet hauptsächlich eine räumliche Aggregation der Daten, wobei einige Algorithmen auch zeitlich arbeiten können respektive die Zeit als Einflussparameter dient. Dennoch verdeutlicht der Entscheidungsbaum, dass auf unterschiedlichen Skalen auch verschiedenen Aggregationen sinnvoll erscheinen. Demzufolge können entsprechende Forschungsfragen und Untersuchungen der WissenschaftlerInnen in gegebenem Mass gut begleitet und unterstützt werden sowie möglicherweise neue Einblicke und Ansichten schaffen. Die Erarbeitung des Entscheidungsbaumes erfolgte stets im Hinblick auf die formulierten Forschungsfragen dieser Masterarbeit. Diese werden im anschliessenden Kapitel 8 diskutiert.

8 DISKUSSION

Die folgenden Unterkapitel werden die formulierten Forschungsfragen (Unterkapitel 1.3) dieser Arbeit sowie die beabsichtigten Ziele aufgreifen und detailliert diskutieren. Diesbezüglich werden auch die bereits besprochenen Schwierigkeiten bei der Durchführung sowie die Aussagen der Expertengruppe hinzugezogen, um die Ausführung der Forschungsfragen zu stützen. Das Ziel dieser Diskussion ist es, differenzierte Aussagen zu den jeweiligen Forschungsfragen zu formulieren und ein Zusammenspiel von Skalen und Aggregationsmethoden zu verdeutlichen.

8.1 Forschungsfrage 1: Skalenabhängigkeit

Haben die verschiedenen Skalen (räumlich, zeitlich, raumzeitlich) einen unterschiedlichen Einfluss auf die Wahl der geeigneten Aggregations- und Visualisierungsmethoden in Verknüpfung mit der Untersuchung von Tierbewegungen?

Basierend auf der Anforderungsanalyse sowie der Expertenbefragung hat sich gezeigt, dass WissenschaftlerInnen bereits verschiedene Aggregationsmethoden nutzen. Dabei wählen sie aber meist nur eine einzige Methode für alle Skalen aus respektive sind die Skalen im geographisch-kartografischen Sinne mit den verschiedenen Abbildungsmaßstäben nicht sehr präsent. Die geplante Umsetzung hat vorgesehen, dass die drei Skalen, das heisst, die räumliche, zeitliche und raumzeitliche Skala, entsprechend berücksichtigt und mit passenden Methoden durchgeführt werden. Während der Entwicklung des Prototyps hat sich jedoch gezeigt, dass alles im Zusammenhang mit dem entsprechenden Datensatz betrachtet und angepasst werden muss. Demzufolge zeigte die Realisierung, dass eine Verallgemeinerung auf den verschiedenen Skalen mit ihren jeweiligen Abstufungen komplizierter ist als gedacht. Die anschliessenden Interviews haben ebenfalls gezeigt, dass auch die Meinungen der Experten sehr divergierend sind, wodurch eigene Annahmen bestätigt, aber auch widerlegt wurden.

Die individuellen Befragungen mit den Experten haben verdeutlicht, dass die zeitliche Skala mitunter den höchsten Stellenwert hat. Demzufolge wurde der Eindruck gewonnen, dass an diese zeitliche Auflösung erst anschliessend die räumliche Verortung angepasst wird. In diesem Zusammenhang wurde auch erst im Nachhinein die Wichtigkeit der Zeit richtig hervorgehoben. In der Anforderungsanalyse wurden ebenfalls viele Anmerkungen bezüglich dem Aspekt der Zeit gemacht, wie beispielsweise „Wo ist das Tier und wie viel Zeit verbringt es dort?“ oder „Wo und zu welchem Zeitpunkt startet und endet die Bewegung des Tieres?“. Dies wurde als wichtig vermerkt, doch konnte die zeitliche Skala nicht in vollem Umfang berücksichtigt werden wie die Experten es vielleicht gewohnt sind. Zum Beispiel wurde bei der Migrationsbewegung versucht, eine Unterscheidung von

Stopps (Brut- und Überwinterungsgebiet) und Bewegung (Wanderrouten) mit dem *k*-Means- und dem Douglas-Peucker Algorithmus zu erzielen. Da diese Methoden jedoch einzeln präsentiert wurden, damit die Bewertung getrennt stattfinden konnte, ist diese Skala nicht sehr gut herausgestellt worden. Dennoch hat die Hälfte der Experten diese Darstellungen insgesamt mit 50 % für *k*-Means und 52.2 % für den Douglas-Peucker Algorithmus als gut und akzeptabel bewertet. Infolgedessen, dass die zeitliche Skala meist in Form der Gesamtbewegung (z. B. 5 Tage) oder Anmerkungen einzelner Bewegungsstadien (z. B. *Breeding Ground* oder *Spring Migration*) berücksichtigt wurde, lag der Fokus dieser Arbeit dann doch mehr auf der räumlichen Aggregation und Visualisierung.

Die Aggregationsmethoden, die sich auf die räumliche Skala beziehen, zeigten eine positive Resonanz und entsprechende skalen- sowie methodenbezogene Aussagen wurden seitens der Expertengruppe gemacht (Abschnitt 7.3.2 und 7.3.3). Generell wurden die Methoden insgesamt auf allen drei räumlichen Skalen mit 63 % als akzeptabel bis gut beurteilt, wobei festzuhalten ist, dass die Bewertungen der einzelnen Aggregationsstufen für die verschiedenen Methoden eine sehr signifikante Varianz aufweisen (Abb. 32). Die beste Bewertung insgesamt erhielt die Methode Line Density auf der Mesoskala mit 83.3 % als gut, wohingegen *k*-Means auf der Mikroskala mit 40 % als schlecht und 40 % als unbrauchbar beurteilt wurde. Dies zeigt deutlich, wie die Wahl der Aggregationsmethode an unterschiedliche räumliche Skalen anzupassen ist. Demzufolge lässt sich offensichtlich festhalten, dass einige Methoden auf entsprechenden Skalen dienlicher erscheinen als andere auf derselben Skala, aber auch umgekehrt. Die Beurteilung der Experten ist so vielfältig gewesen, weshalb nicht direkt gesagt werden kann, dass eine Methode prinzipiell unbrauchbar ist während eine andere in vollem Umfang sehr gut geeignet scheint. Die Skala muss stets im Zusammenhang mit der individuellen Forschungsfrage betrachtet und bestimmt werden. Insgesamt konnte daher verdeutlicht werden, dass die räumliche Skala einen Einfluss auf die Wahl der Aggregationsmethode hat. Es konnte ferner im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt werden, dass die räumliche Skala fallspezifisch ist und dadurch eine Abhängigkeit von der Forschungsfrage der WissenschaftlerInnen besteht. Demzufolge können daher hier keine detaillierten Aussagen getroffen, sondern nur allgemeine Hinweise auf eine mögliche Nutzbarkeit auf den entsprechenden Skalenstufen gemacht werden.

Die Kombination der räumlichen und zeitlichen Skala und deren Auswirkungen auf die Wahl der verschiedenen Aggregationsmethoden konnte nicht vollständig aufgezeigt werden. Die Umsetzung war zwar entsprechend geplant worden, doch hat sich im Verlauf der Arbeit und der Expertenevaluation herausgestellt, dass diese raumzeitliche Skala komplexer ist als zu Beginn angenommen. Die einzelnen Interviews mit den Experten haben verdeutlicht, dass die Darstellungen kontinuierlich an die Forschungsfragen anzupassen sind, wodurch ausschliesslich Aussagen zu den präsentierten Abbildungen und keine Verallgemeinerungen getroffen werden konnten. Demzufolge wurde verdeutlicht, dass die Bearbeitung der raumzeitlichen Skala eine vielschichtige Herangehensweise bedingt, um differenzierte Aussagen machen zu können. Folglich kann eine Antwort auf die Forschungsfrage, bezüglich eines Einflusses auf die Wahl der Aggregations- und Visualisierungsmethode, nur teilweise gegeben werden. Diesbezüglich werden ähnliche Reaktionen wie bei den anderen zwei Skalen angenommen. Das bedeutet, dass auch hier verschiedene Methoden zu wählen respektive Kombinationen von Algorithmen zu verwenden sind.

Dementsprechend lässt sich anhand dieser Erkenntnisse festhalten, dass Skalen einen unterschiedlichen Einfluss vor allem auf die Wahl der Aggregationsmethode haben. Liegt das Hauptaugenmerk auf der zeitlichen Skala sind andere Algorithmen und Methoden zu nutzen als bei

einer räumlichen Skala. Beispielsweise werden die Datenpunkte entsprechend dem Tag im Jahr durchnummeriert (1 bis 365/366) und mit einem farblichen Verlauf (Blau zu Weiss) kodiert, wodurch in der anschliessenden Grafik ersichtlich ist, zu welchem Zeitpunkt die Migrationsbewegung beginnt respektive endet. Infolgedessen sind die verschiedenen Stufen innerhalb einer zeitlichen Aggregation eher an Jahreszeiten oder Tag- und Nachtgegensätze angelehnt. Bei einer räumlichen Skala sind solche statistische Analysen ebenfalls wichtig, doch interessiert hier mehr der Aktionsraum des Tieres. Die zeitliche Skala ist diesbezüglich zweitrangig. Ein Beispiel hierfür ist Line Density. Demgemäss können Überschneidungen gleicher Migrationsrouten oder oft genutzte Korridore ermittelt und miteinander verglichen werden. Bei der raumzeitlichen Skala ist ein Zusammenspiel der beiden eben erwähnten Skalen eine wichtige Voraussetzung. Diesbezüglich kann eine Kombination von Douglas-Peucker Algorithmus und k -Means eine vereinfachte Darstellung der Migrationsbewegung mit Zwischenstopps sein. Diese Vereinigung von Methoden ist dann nützlich, wenn beispielsweise ein Überblick über die genutzten Daten geben werden soll ohne zu viele Details darzustellen. Diese Beispiele verdeutlichen, dass verschiedene Skalen unterschiedliche Aggregations- und Visualisierungsmethoden zur Folge haben.

Diese Feststellungen und Aussagen heben hervor, dass es stets wertvoll ist, verschiedene Skalen sowie unterschiedliche Abstufungen innerhalb der Skalen zu berücksichtigen. Durch diese vollumfängliche Betrachtungen und Analysen sowie statistischen Untersuchungen können die WissenschaftlerInnen die Bewegung der Tiere nachvollziehen und werden in ihrer Forschung angemessen unterstützt. Die formulierte Skalenabhängigkeit kann dementsprechend in zweierlei Hinsicht aufgenommen werden. Die verschiedenen Skalen sowie die vielfältigen Aggregations- und Visualisierungsmethoden bedingen sich gegenseitig. Das bedeutet, dass die Wahl des einen Einfluss auf das andere hat und genauso umgekehrt. Demzufolge konnte in dieser Arbeit lediglich ein erster Überblick geschaffen werden ohne sichere detaillierte Aussagen zu treffen. Soll diese Skalenabhängigkeit von den Methoden skizziert werden und den ForscherInnen nützen, ist es in dieser Ausarbeitungsphase noch nicht sinnvoll zu sagen, dies ist der richtige Rahmen (Entscheidungsbaum) anhand derer die WissenschaftlerInnen sich orientieren können. Um diese Aussage zu bekräftigen sind die fachlichen Kenntnisse beider Forschungsfelder, Ökologie und GIS, zwingend notwendig. Erst durch weitere Forschungen können differenzierte Aussagen zu den entsprechenden Skalen und Skalenstufen gemacht werden, wodurch sich dieser Überblick in eine fundierte Entscheidungshilfe wandeln wird.

8.2 Forschungsfrage 2: Aggregationsstufen

Wie können mögliche Aggregationsstufen in Form eines Entscheidungsbaumes im Zusammenhang mit der Analyse von Tierbewegungsdaten aussehen?

Der konzeptuelle Entwurf (Kapitel 4.2) stützt sich auf die Ergebnisse der Anforderungsanalyse. Somit wurden in einem ersten Schritt Aggregationsmethoden evaluiert und entsprechenden Skalen zugeordnet. Diese Zuordnung der Skalen entspricht etwaigen Aggregationsstufen, da die Realisierung dieser exemplarisch und nur mit statischen Abbildungen umgesetzt wurde. Diesbezüglich wurde festgelegt, dass beispielsweise die verschiedenen Clusteranalysen ausschliesslich auf der Mikroskala

überzeugend und auf der Makro- und Mesoskala für die Migrationsbewegung entsprechende Linienvereinfachungen nützlich sind (Abschnitt 4.2.1). Infolgedessen wurden die Methoden ermittelt, die sich in dem anschliessenden Prototyp umsetzen lassen und für die Expertenevaluation geeignet sind. Die Bewertung seitens der Expertengruppe ergab, dass einige Aggregationsmethoden für bestimmte Zwecke brauchbarer sind als für andere und alles stets im Zusammenhang mit dem individuellen Forschungsschwerpunkt betrachtet werden muss. Ferner wurde das konzeptuelle Design überarbeitet und konnte eine verbesserte Version des Entscheidungsbaumes (Anhang C) ermöglichen.

Dementsprechend gibt der korrigierte Entscheidungsbaum eine grobe Zusammenfassung über mögliche Methoden und veranschaulicht, dass die Clusteranalysen von grosser Bedeutung und Wichtigkeit sind. Dabei sind sie auf allen Skalen präsent, wodurch spezifische Untersuchungen erlaubt werden. Auf der Makroskala sind beispielsweise generelle Abgrenzungen erwünscht. Dies basiert auf den Aussagen der Experten, die es willkommen heissen, wenn ein erster Überblick über den Datensatz gewonnen werden kann. Dennoch ist dies stets von der Bewegungsart, der Grösse des Lebensraumes sowie der Anzahl an Individuen abhängig. Zum Beispiel ist für die Gruppe der Migrationsbewegung lediglich die KDE passend, da so erste Hotspots oder ähnliche Wanderrouen eruiert werden können. Die MCP ist für diese Anzahl an Tieren und Bewegungsart nicht sinnvoll, wohingegen sie für Individuen der Nahrungssuche und des Korridorverhaltens gut geeignet scheint. Diese räumlich geprägten Skalen zeigen in der Verbindung mit den verschiedenen Aggregationsmethoden, dass entsprechende Abstufungen vorherrschen und an der Anzahl und Bewegungsart des Lebewesens orientiert sind.

Insgesamt ist dieser Entscheidungsbaum für einen ersten Überblick über verschiedenen Skalen und Aggregationsmethoden gut geeignet (Anhang C). Er zeigt individuelle Möglichkeiten auf und kann dadurch neue Einblicke in die Analyse von Tierbewegungsdaten schaffen. Dennoch ist dies eher eine Verallgemeinerung, was schon in der vorherigen Diskussion der Forschungsfrage 1 deutlich wurde. Zum jetzigen Zeitpunkt kann nicht gesagt werden, dass es zukünftig diese eine Entscheidungshilfe für WissenschaftlerInnen geben wird. Alle Entscheidungen bezüglich der Skalen mit den unterschiedlichen Skalenstufen müssen stets an individuelle Forschungsschwerpunkte und Bewegungsarten der Lebewesen angepasst und modifiziert werden. Das grundlegende Ziel, das in dieser Arbeit erreicht werden sollte, konnte teilweise umgesetzt werden. Es wurde zu Beginn der Arbeit beabsichtigt, dass den WissenschaftlerInnen eine Möglichkeit dargeboten wird anhand derer sie durch Wahl der Bewegungsart und Skala entsprechende Aggregationsmethoden vorgeschlagen bekommen. Dies ist durch den überarbeiteten Entscheidungsbaum in allgemeinen Ansätzen erreicht worden. Ist das Ziel beispielsweise einen ersten Überblick (Makroskala) über ähnliche Migrationsrouten von Vögeln zu erlangen, können die Methoden KDE und Line Density nützlich sein. Sollen die Aktionsräume von Individuen des Korridorverhaltens auf mögliche Überschneidungen untersucht werden eignet sich beispielsweise das MCP. Diese Beispiele verdeutlichen, dass mögliche Aggregationsstufen in Form eines Entscheidungsbaumes für die vorliegenden Datensätze im Allgemeinen umgesetzt werden konnten.

Bezogen auf die verschiedenen Aggregationsstufen kann aufgezeigt werden, dass eine differenzierte Betrachtung der Skalen mit unterschiedlichen Methoden bedeutsam und der Analyse von Tierbewegungen dienlich ist. Der Entscheidungsbaum ist dafür eine gute Darstellung und veranschaulicht auf welcher Skala, welche Methode für welche Bewegungsart und Anzahl Individuen genutzt werden kann. Dies ist die Basis für eine entsprechende Entscheidungshilfe für WissenschaftlerInnen. Dabei werden ihnen verschiedene Möglichkeiten angeboten und es wird

dargestellt, welche Kombination von Skala und Aggregationsmethode passend ist. Das Ziel einer Präsentation von Skalen und entsprechenden Aggregationsstufen ist folglich für allgemeine Aussagen erreicht worden. Besteht ferner der Wunsch einer detaillierteren Entscheidungshilfe, so sind, wie zuvor in Forschungsfrage 1 beschrieben, die Fachkompetenzen der Forschungsfelder Ökologie und GIS essentiell.

8.3 Forschungsfrage 3: Pro und Kontra

Welche Vor- und Nachteile bietet eine skalenabhängige Aggregation?

In Verbindung mit den zwei vorangegangenen Forschungsfragen lassen sich die Erkenntnisse in entsprechenden Vor- und Nachteilen für eine skalenabhängige Aggregation formulieren und zusammenfassen.

Die positiven Auswirkungen einer differenzierten Betrachtung und Analyse der Bewegungsdaten liegt eindeutig in einer ganzheitlichen Untersuchung der jeweiligen Datensätze. Aufgrund verschiedener Möglichkeiten, die Daten zu aggregieren und zu analysieren, können vertiefend Schlussfolgerungen und Erkenntnisse gewonnen werden, welche eine zielführende Lösungsfindung als Intention besitzen. Demzufolge bilden die verschiedenen räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Skalen mit ihren vielfältigen Abstufungen eine gute Basis und können die WissenschaftlerInnen bei ihren Forschungen unterstützen. Neben den derzeit angewandten Methoden und Algorithmen in der Ökologie kann eine skalenabhängige Aggregation mit Techniken und Methoden aus der Geographie und Kartographie möglicherweise andere Gesichtspunkte aufzeigen. Die Durchführung der in dieser Arbeit beschriebenen Methoden, kann gegenwärtige Untersuchungen begleiten und entsprechenden Forschungsschwerpunkten dienen. Zum Beispiel können die Ergebnisse der Brownschen Brücken durch eine KDE oder Line Density durch Aufzeigen ähnlicher Muster und Resultate bekräftigt werden. Des Weiteren ist eine Gegenüberstellung von k -Means und dem DBSCAN-Algorithmus eine gute Möglichkeit, verschiedene Clusteranalysen aufzuzeigen und die gebildeten Cluster detailliert zu beleuchten und zu vergleichen. Dies ist auf allen Skalen und Aggregationsstufen eine hervorragende Gelegenheit, die Datensätze aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten.

Die Nachteile einer skalenabhängigen Aggregation liegen hauptsächlich in dem grösserem Zeit- und Analyseaufwand sowie einem damit verbundenen Testen von Parametern und entsprechenden Probeläufen. Des Weiteren ist die Definition der Skala vielgestaltig, vor allem wenn die Faktoren Raum und Zeit sehr zentral in der Untersuchung von Bewegungsdaten sind. Diese Kombination der entsprechenden Aggregationsmethoden ist einerseits wichtig, aber auf der anderen Seite mitunter schwierig in der Umsetzung wie sich während der Arbeit herausgestellt hat. Hinzu kommt, dass jede zuvor definierte Skala andere Aggregationsmethoden aufweisen kann, wodurch die einzelnen Methoden eher losgelöst voneinander wirken und keine Verknüpfung ersichtlich ist. Wird dies jedoch bedacht, können diese Nachteile respektive Schwierigkeiten in positive Auswirkungen umgeformt werden.

Zusammenfassend lässt sich demzufolge festhalten, dass eine skalenabhängige Aggregation gewisse Pro und Kontra aufweist, aber insgesamt nützlich für eine zielgerichtete Analyse von

Tierbewegungsdaten ist. Die verschiedenen Skalen mit ihren jeweiligen Stufen können eine begleitende Hilfe für entsprechende Forschungsfragen in der Ökologie sein. Dennoch sind keine wirklichen Detailaussagen möglich, da die angewandten Methoden fallspezifisch sind. Die Komplexität der Skalenabhängigkeit und der verschiedenen Aggregationsmethoden zeigte sich erst im Verlauf der Arbeit, vor allem in der Expertenevaluation. Für eine gänzlich differenzierte Darstellung verschiedener Skalen sowie Aggregations- und Visualisierungsmethoden in Kombination mit unterschiedlichen Bewegungsarten sind weiterführende Untersuchungen nötig. Dafür ist die Zusammenarbeit im interdisziplinären Forschungsfeld der Ökologie und GIS wichtig, denn nur dann ist eine zielführende Umsetzung möglich.

9 SCHLUSSFOLGERUNG

Dieses Kapitel beinhaltet eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Motive dieser Arbeit. Ferner verdeutlicht es den wissenschaftlichen Beitrag im Hinblick auf die Verknüpfung von verschiedenen Skalen und Aggregationsmethoden sowie einem weiterführenden Nutzen für Movebank. Der Ausblick hebt zukünftige Auseinandersetzungen von Bewegungsdaten und Analysemöglichkeiten hervor und zeigt dabei auf, wo weitere Vertiefungen in diesem interdisziplinären Forschungsfeld denkbar sind.

9.1 Zusammenfassung

Die gegenwärtigen Aufnahmetechniken für die Untersuchung von Tierbewegungen bedingen Methoden und Werkzeuge der Aggregation und Visualisierung damit solch grosse heterogene Datensätze sinnvoll erforscht und visuell dargestellt werden können. Dabei sollen die aggregierten Daten entsprechende Bewegungsmuster und Nutzungen des Aktionsraumes der Lebewesen sowie diesbezüglich verbundene Charakteristiken der Landschaft aufzeigen (ANDRIENKO & ANDRIENKO, 2007 und 2010; WIKELSKI & KAYS, 2013). Demzufolge sind auch entsprechende Skalen von grosser Bedeutung und müssen bei diesen Analysen mit einbezogen werden. Eine skalenabhängige Aggregation und Visualisierung kann in diesem Zusammenhang sehr dienlich sein und bereits gewonnene Erkenntnisse stützen oder sogar neue Einblicke geben.

In dieser Arbeit wurde eine Skalenabhängigkeit im Zusammenhang mit verschiedenen Aggregations- und Visualisierungsmethoden nachgewiesen. Diesbezüglich ist ein konzeptueller Entwurf in Form eines Entscheidungsbaumes erstellt worden, der durch einen Prototyp umgesetzt und anschliessend durch eine Expertenbefragung evaluiert wurde. Ferner wurde die anfängliche Entscheidungshilfe überarbeitet, wodurch die endgültige Version entsprechende Skalen und Skalenstufen mit passenden Aggregationsmethoden aufzeigen konnte. Dies stellt jedoch nur einen Überblick dar und kann keine detaillierten Aussagen formulieren, da die Verknüpfung von Skalen und Methoden stets durch die Bewegungsart und die Anzahl der Individuen mitbestimmt wird. Die Diskussion der Forschungsfragen konnte verdeutlichen, dass die räumliche, zeitliche und raumzeitliche Skala andere Aggregationsmethoden voraussetzen. Des Weiteren konnte aufgezeigt werden, dass die Aggregationsstufen in Form eines Entscheidungsbaumes geeignet und der Analyse von Tierbewegungsdaten dienlich sind. Diesbezüglich wurden entsprechende Vor- und Nachteile formuliert, die abermals darlegen konnten, dass der Entscheidungsbaum eine Verallgemeinerung der Daten und Bewegungsarten darstellt. Besteht der Wunsch einer vertieften Analyse um Detailaussagen machen zu können, müssen die fachlichen Kompetenzen beider Forschungsfelder, Ökologie und GIS, zusammenarbeiten.

Dennoch kann festgehalten werden, dass die zu Beginn gesetzten Motive und Ziele dieser Arbeit überwiegend umgesetzt worden sind. Die gewählten Methoden und visuellen Darstellungen mittels der zwei Softwareprogramme konnten in Zusammenarbeit mit der Expertengruppe zeigen, dass eine grundlegende Skalenabhängigkeit in Verknüpfung mit Aggregationsmethoden vorhanden ist.

9.2 Wissenschaftlicher Beitrag

Die Durchführung der Anforderungsanalyse und das Erstellen des konzeptuellen Entwurfs war der erste Schritt, verschiedene Skalen und Aggregationsmethoden miteinander zu verknüpfen und dabei bestimmte Anforderungen zu berücksichtigen. Ein derartiger Entwurf wurde bislang noch nicht angefertigt. Dies konnte durch den erarbeiteten Prototypen sowie der Expertenevaluation deutlich gestützt werden. Eine vertiefte und sehr differenzierte Analyse und Untersuchung auf allen drei Skalen ist jedoch zu diesem Zeitpunkt nicht möglich. Lediglich allgemeine Aussagen in Zusammenhang mit der Bewegungsart und Anzahl an Individuen kann getroffen werden und aufzeigen, auf welcher Skala welche Methoden nützlich sind. Dieser Entscheidungsbaum soll den WissenschaftlerInnen bei ihren Forschungen dienen und verdeutlichen, welche Methoden ebenfalls respektive zusätzlich genutzt werden können, um ihre individuellen Forschungsschwerpunkte zu unterstützen und neue Einblicke zu geben.

Des Weiteren ist diese Arbeit vor dem Hintergrund einer Zusammenarbeit mit der Internetplattform Movebank erstellt worden. Die evaluierten Aggregationsmethoden lassen sich sowohl mit R als auch mit ArcGIS umsetzen und können somit für eine zukünftige Implementation in die *Tracking Data Map* der Movebank angedacht werden. Dies ist vor allem dann denkbar, wenn die Visualisierung und Präsentation der Bewegungsdaten für ein breites Publikum gedacht ist, welches vornehmlich einen Überblick über die Daten gewinnen möchte ohne mit zu viel Details konfrontiert zu sein.

Demzufolge konnten neue wissenschaftliche Erkenntnisse zum einen für die Darstellung unterschiedlicher Skalen in Kombination mit vielfältigen Aggregationsmethoden gewonnen werden. Zum anderen können die aufgezeigten Möglichkeiten für eine zukünftige Implementation in der Movebank dienen respektive sind sie für allgemeine Präsentationen der Datensätze nützlich.

9.3 Ausblick

Diese Arbeit bildet eine gute Basis, um weitere vertiefende Analysen durchzuführen und detaillierte Entscheidungshilfen zu erarbeiten. Für eine solch gezielte Untersuchung ist es wichtig, dass die Fachkompetenzen der Ökologie und GIS zusammenarbeiten und an spezifischen Datensätzen mögliche Skalenabhängigkeiten und Aggregationsstufen prüfen. Nur das Wissen beider Forschungsfelder kann differenzierte und verallgemeinernde Schlussfolgerungen für gleiche und/oder ähnliche Bewegungsarten respektive Tierbewegungsdatensätze formulieren. Beispielsweise könnte der überarbeitete Entwurf des Entscheidungsbaumes als Grundlage für weitere Bewegungsarten dienen oder entsprechend erweitert respektive die anderen evaluierten Methoden getestet werden. Des Weiteren können auch systematisch die verschiedenen Skalen und

Aggregationen im Zusammenhang mit entsprechenden Bewegungsarten überprüft und in einer Kooperation mit ForscherInnen dieser Fachrichtung verfeinert werden. Ferner konnte in dieser Arbeit ein allgemeiner Überblick über mögliche Skalen und Aggregationsmethoden gegeben und entsprechende Skalenstufen, basierend auf den Meinungen der Expertengruppe, ausgearbeitet werden.

Eine weitere Vertiefung dieser Arbeit kann auch die Vorbereitung für die Implementation oder sogar diese selbst für die Internetplattform Movebank sein. Alle Berechnungen und Darstellungen die in Movebank vorhanden sind, beruhen auf dem Statistikprogramm R. So können den WissenschaftlerInnen weitere Möglichkeiten der Datenanalyse und visuellen Darstellung zur Verfügung gestellt werden. Dementsprechend können nicht nur sie selbst, sondern auch studienfremde Personen einen Einblick in die Tierbewegungsdaten gewinnen. Aus diesem Grund, wurden die Aggregationsmethoden auch mit R verwirklicht, um einen Ausgangspunkt für diese weiterführende Idee darzustellen.

Demzufolge ist ein Zusammenwirken von Methoden und Techniken beider Forschungsfelder essentiell, um Aussagen zu treffen, welche Methoden am wertvollsten für eine entsprechende skalenabhängige Aggregation und Visualisierung sind. Diese Kombination der wissenschaftlichen Zusammenarbeit kann ein beständiges Entwurfsmuster erarbeiten, das hervorhebt, wie Tierbewegungsdaten auf den unterschiedlichen Skalen optimal analysiert und untersucht werden können. Dieses Kooperieren kann sogar in einem weiteren Schritt zu einer vollständigen Implementation in Movebank führen. Bezüglich der verschiedenen Forschungsfelder bringt dabei jeder Partner interessante und wichtige Methoden, Techniken und Betrachtungsweisen mit, die durch eine entsprechende Verknüpfung diesen Ansatz einer skalenabhängigen Aggregation vertiefen können.

LITERATUR

- ANDRIENKO, N. & ANDRIENKO, G. (2006): *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data - A Systematic Approach*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg: 703 pages.
- ANDRIENKO, N. & ANDRIENKO, G. (2007): Designing Visual Analytics Methods for Massive Collections of Movement Data. *Cartographica, Volume 42, Issue 2*: 117-138.
- ANDRIENKO, N. & ANDRIENKO, G. (2010): A General Framework for Using Aggregation in Visual Exploration of Movement Data. *The Cartographic Journal, Vol. 47, No.1*: 22-40.
- ANDRIENKO, N. & ANDRIENKO, G. (2011): Spatial Generalization and Aggregation of Massive Movement Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 17, No.2*: 205-219.
- ANKERST, M.; BREUNIG, M. M.; KRIEDEL, H.-P. & SANDER, J. (1999): OPTICS: Ordering Points To Identify the Clustering Structure. *Proceedings of the 1999 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Volume 28, Issue 2*: 49-60.
- AUGER, P. & BRAVO DE LA PARRA, R. (2000): Methods of aggregation of variables in population dynamics. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie, Volume 323, Issue 8*: 665-674.
- BAUCHINGER, U.; VAN'T HOF, T. & BIEBACH, H. (2008): Migratory stopover conditions affect the developmental state of male gonads in garden warblers (*Sylvia borin*). *Hormones and Behavior, Volume 54, Issue 2*: 312-318.
- BEYER, H. L. (2012): Geospatial Modelling Environment. <http://www.spatalecolology.com/gme/> (16.01.2014).
- BIAN, L. & BUTLER, R. (1999): Comparing Effects of Aggregation Methods on Statistical and Spatial Properties of Simulated Spatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 65, No. 1*: 73-84.
- BILDSTEIN, K. L. (2013): Study Details of "Turkey Vulture Acopian Center USA GPS". https://www.movebank.org/panel_embedded_movebank_webapp (21.11.2013).
- BLAKE, S.; YACKULIC, C. B.; CABRERA, F.; TAPIA, W.; GIBBS, J. P.; KÜMMETH, F. & WIKELSKI, M. (2013): Vegetation dynamics drive segregation by body size in Galapagos tortoises migrating across altitudinal gradients. *Journal of Animal Ecology, Volume 82, Issue 2*: 310-321.
- BONNELL, T. R.; DUTILLEUL, P.; CHAPMAN, C. A.; REYNA-HURTADO, R.; HERNÁNDEZ-SARABIA, R. U. & SENGUPTA, R. (2013): Analysing small-scale aggregation in animal visits in space and time: the ST-BBD method. *Animal Behaviour, Volume 85, Issue 2*: 483-492.

- CAGNACCI, F.; BOITANI, L.; POWELL, R. A. & BOYCE, M. S. (2010): Animal ecology meets GPS-based radiotelemetry: a perfect storm of opportunities and challenges. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 365, No. 1550: 2157-2162.
- CARO, T.; JONES, T. & DAVENPORT, T. R. B. (2009): Realities of documenting wildlife corridors in tropical countries. *Biological Conservation*, Volume 142, Issue 11: 2807-2811.
- CHESSON, P. (2012): Scale transition theory: Its aims, motivations and predictions. *Ecological Complexity*, Volume 10: 52-68.
- CHRISTENSEN, A. H. J. (2005): Terrain Generalization and the Definition of Scale. *ASPRS American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2005 Annual Conference, 2005, Baltimore, MD*: 7 pages.
- DAS DIGITALE WÖRTERBUCH DER DEUTSCHEN SPRACHE (DWDS) (2014): Prototyp. <http://www.dwds.de/?qu=Prototyp> (15.01.2014).
- DELMORE, K. E.; FOX, J. W. & IRWIN, D. E. (2012): Dramatic intraspecific differences in migratory routes, stopover sites and wintering areas, revealed using light-level geolocators. *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 279, No. 1747: 4582-4589.
- DEMŠAR, U. & VIRRANTAUŠ, K. (2010): Space-time density of trajectories: exploring spatio-temporal patterns in movement data. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 24, No. 10: 1527-1542.
- DESROCHERS, A.; RENAUD, C.; HOCHACHKA, W. M. & CADMAN, M. (2010): Area-sensitivity by forest songbirds: theoretical and practical implications of scale-dependency. *Ecography*, Volume 33, Issue 5: 921-931.
- DODGE, S.; WEIBEL, R. & LAUTENSCHÜTZ, A.-K. (2008): Towards a taxonomy of movement patterns. *Information Visualization*, Vol. 7, No. 3-4: 240-252.
- DOWNS, J. A. (2010): Time-Geographic Density Estimation for Moving Point Objects. In: FABRIKANT, S. I. et al. (Eds.): *GIScience 2010, LNCS 6292*: 16-26.
- DOWNS, J. A. & HORNER, M. W. (2012): Analysing infrequently sampled animal tracking data by incorporating generalized movement trajectories with kernel density estimation. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 36, Issue 4: 302-310.
- EHRLIHOLZER, R. (1996): Methoden für die Bewertung der Qualität von Generalisierungslösungen, Diplomarbeit. Geographisches Institut, Universität Zürich, Zürich, Schweiz.
- ESRI ARCGIS 10.1 RESOURCE CENTER (2013): Desktop Help: Geoprocessing - Line Density (Spatial Analyst). <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/na/009z00000012000000/> (27.12.2013)
- ESRI INC. (2014): Products: ArcGIS. <http://www.esri.com/software/arcgis> (16.01.2014).

- ESTER, M.; KRIEGEL, H.-P.; SANDER, J. & XU, X. (1996): A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise. *Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD, Vol. 96*: 226-231.
- FIEDLER, W. & DAVIDSON, S. (2012): Movebank - eine offene Internetplattform für Tierwanderungsdaten. *Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde, Band 50, Heft 1*: 15-20.
- FRIGUI, H.; HWANG, C. & RHEE, F. C.-H. (2007): Clustering and aggregation of relational data with applications to image database categorization. *Pattern Recognition, Volume 40, Issue 11*: 3053-3068.
- FRITZ, H.; SAID, S. & WEIMERSKIRCH, H. (2003): Scale-dependent hierarchical adjustments of movement patterns in a long-range foraging seabird. *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences, Vol. 270, No. 1520*: 1143-1148.
- GNU-Betriebssystem (2014): Kategorien freier und unfreier Software. <http://www.gnu.org/philosophy/categories.de.html> (16.01.2014).
- HOLLAND, R. A.; WIKELSKI, M.; KÜMMETH, F. & BOSQUE, C. (2009): The Secret Life of Oilbirds: New Insights into the Movement Ecology of a Unique Avian Frugivore. *PLoS ONE, Volume 4, Issue 12*: e8264, 1-6.
- HORNE, J. S.; GARTON, E. O.; KRONE, S. M. & LEWIS, J. S. (2007): Analyzing Animal Movements Using Brownian Bridges. *Ecology, Volume 88, Issue 9*: 2354-2363.
- JAMES, A.; PLANK, M. J. & EDWARDS, A. M. (2011): Assessing Lévy walks as models of animal foraging. *Journal of the Royal Society Interface, Vol. 8, No. 62*: 1233-1247.
- KANUNGO, T.; MOUNT, D. M.; NETANYAHU, N. S.; PIATKO, C. D.; SILVERMAN, R. & WU, A. Y. (2002): An Efficient *k*-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 24, No. 7*: 881-892.
- KISILEVICH, S.; MANSMANN, F.; NANNI, M. & RINZIVILLO, S. (2010): Spatio-temporal clustering. In: MAIMON, O. & ROKACH, L. (Eds.): *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*: 855-874.
- KRANSTAUBER, B.; CAMERON, A.; WEINZERL, R.; FOUNTAIN, T., TILAK, S.; WIKELSKI, M. & KAYS, R. (2011): The Movebank data model for animal tracking. *Environmental Modelling & Software, Volume 26, Issue 6*: 834-835.
- LAPPOINT, S. (2013): Study Details of "Martes pennanti LaPoint New York". https://www.movebank.org/panel_embedded_movebank_webapp (21.11.2013).
- LAPPOINT, S.; GALLERY, P.; WIKELSKI, M. & KAYS, R. (2013): Animal behavior, cost-based corridor models, and real corridors. *Landscape Ecology, Volume 28, Issue 8*: 1615-1630.
- LI, Z. (2007): *Algorithmic Foundation of Multi-Scale Spatial Representation*. CRC Press, Boca Raton, FL: 280 pages.

- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MEGUIRE, D. J. & RHIND, D. W. (2011): *Geographic Information Systems & Science, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc., USA: 539 pages.
- MABRY, K. E. & PINTER-WOLLMANN, N. (2010): Spatial Orientation and Time: Methods. *Encyclopedia of Animal Behavior*: 308-314.
- MANDEL, J. T.; BILDSTEIN, K. L.; BOHRER, G. & WINKLER, D. W. (2008): Movement ecology of migration in turkey vultures. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 105, No. 49: 19102-19107.
- MANDEL, J. T.; BOHRER, G.; WINKLER, D. W.; BARBER, D. R.; HOUSTON, C. S. & BILDSTEIN, K. L. (2011): Migration path annotation: cross-continental study of migration-flight response to environmental conditions. *Ecological Applications, Volume 21, Issue 6*: 2258-2268.
- MIEG, H. A. & NÄF, M. (2005). Experteninterviews, 2. Auflage. Institut für Mensch-Umwelt-Systeme (HES), ETH Zürich. *Verfügbar unter:*
http://www.mieg.ethz.ch/education/Skript_Experteninterviews.pdf (09.01.2014)
- NATHAN, R.; GETZ, W. M.; REVILLA, E.; HOLYOAK, M.; KADMON, R.; SALTZ, D. & SMOUSE, P. E. (2008): A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 105, No. 49: 19052-19059.
- OWEN-SMITH, N.; FRYXELL, J. M. & MERRILL, E. H. (2010): Foraging theory upscaled: the behavioural ecology of herbivore movement. *Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 365, No. 1550: 2267-2278.
- PARK, W. & YU, K. (2011): Hybrid line simplification for cartographic generalization. *Pattern Recognition Letters, Volume 32, Issue 9*: 1267-1273.
- SCHWAGER, M.; ANDERSON, D. M.; BUTLER, Z. & RUS, D. (2007): Robust classification of animal tracking data. *Computers and Electronics in Agriculture, Volume 56, Issue 1*: 46-59.
- SEEWAGEN, C. L.; SLAYTON, E. J. & GUGLIELMO, C. G. (2010): Passerine migrant stopover duration and spatial behaviour at an urban stopover site. *Acta Oecologica, Volume 36, Issue 5*: 484-492.
- SHI, B.-Q.; LIANG, J. & LIU, Q. (2011): Adaptive simplification of point cloud using k-means clustering. *Computer-Aided Design, Volume 43, Issue 8*: 910-922.
- SLOCUM, T. A.; McMASTER, R. B.; KESSLER, F. C. & HOWARD, H. H. (2010): *Thematic Cartography and Geovisualization, Third Edition*. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ: 561 pages.
- SQUIRES, J. R.; DECESARE, N. J.; OLSON, L. E.; KOLBE, J. A.; HEBBLEWHITE, M. & PARKS, S. A. (2013): Combining resource selection and movement behavior to predict corridors for Canada lynx at their southern range periphery. *Biological Conservation, Volume 157*: 187-195.
- STORRER, H. H. (2010): *Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften II, Band 8*. Birkhäuser Verlag AG, Basel, Schweiz: 369 pages.

- STRAUSS, R. E. (2001): Cluster analysis and the identification of aggregations. *Animal Behaviour*, Volume 61, Issue 2: 481-488.
- THE R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING (2013): R - A language and environment for statistical computing and graphics. <http://www.r-project.org/> (02.09.2013).
- WIKELSKI, M. (2013): Study Details of "Oilbirds". https://www.movebank.org/panel_embedded_movebank_webapp (21.11.2013).
- WIKELSKI, M. & KAYS, R. (2013): Movebank: archive, analysis and sharing of animal movement data. World Wide Web electronic publication. <http://www.movebank.org> (01.11.2013).
- WILTSCHKO, W. & WILTSCHKO, R. (2012): Global navigation in migratory birds: tracks, strategies, and interactions between mechanisms. *Current Opinion in Neurobiology*, Volume 22, Issue 2: 328-335.
- WORBOYS, M. & DUCKHAM, M. (2004): *GIS: A Computing Perspective, Second Edition*. CRC Press, Boca Raton, FL: 426 pages.
- YAN, H. & WEIBEL, R. (2008): An algorithm for point cluster generalization based on the Voronoi diagram. *Computers & Geosciences*, Volume 34, Issue 8: 939-954.

Quellen zu Abbildung 1

- MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT, MÜNCHEN (2013): Forscher beobachten Krabben auf der Weihnachtsinsel mit GPS-Satelliten. [Artikel vom 15.11.2012] http://www.mpg.de/6625060/palmendieb-weihnachtsinsel?filter_order=LT&research_topic=BM-VB (11.03.2013)
- SCHWEIZERISCHE VOGELWARTE (2013): Ratgeber: Beringung. <http://www.vogelwarte.ch/beringung.html> (11.03.2013)
- THE MIGRATORY CONNECTIVITY PROJECT (2012): Technology: Radio telemetry. <http://www.migratoryconnectivityproject.org/vhf-radios/> (06.01.2014)
- THE MIGRATORY CONNECTIVITY PROJECT (2012): Technology: Geolocators. <http://www.migratoryconnectivityproject.org/geolocators/> (06.01.2014)
- WWF DEUTSCHLAND (2013): Die Wanderungen der Lederschildkröten im Atlantik. <http://www.wwf.de/themen-projekte/bedrohte-tier-und-pflanzenarten/meeresschildkroeten/die-wanderung/> (11.03.2013)

ANHANG A: R-CODE

Convex Hull

```
4
5 library(grDevices)
6
7
8 #Import
9 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
10
11 x <- oilbird.80397$long
12 y <- oilbird.80397$lat
13
14 #Matrix
15 moilbird <- cbind(x, y)
16
17 #compute Convex Hull of a set of points
18 chull(moilbird)
19 plot(moilbird, col="dodgerblue", pch=20, main="Convex Hull", xlab="Längengrad", ylab="Breitengrad")
20 hpts <- chull(moilbird)
21 hpts <- c(hpts, hpts[1])
22 lines(moilbird[hpts, ], col="darkorchid")
23
```

MCP

```
4
5 library(adehabitatHR)
6
7
8 #Import
9 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
10
11 #SpatialPoints & SpatialPointsDataFrame
12 coords <- cbind(oilbird.80397$long, oilbird.80397$lat)
13 sp <- SpatialPoints(coords)
14 spdf <- SpatialPointsDataFrame(coords, oilbird.80397)
15
16 #MCP
17 oilbird.mcp <- mcp(sp, percent=100, unin="km", unout="km2")
18
19 #home range size
20 as.data.frame(oilbird.mcp)
21
22 #plot home range
23 plot(oilbird.mcp)
24
25 #add points
26 plot(sp, col="green", add=TRUE)
27 title("MCP")
28 degAxis(1)
29 text(-63.2, 10.05, "area size = 0.0247 km2")
30
```

DBSCAN

```

4
5 library(fpc)
6
7
8 #Import
9 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
10
11 #DBSCAN
12 oilbird.dist <- daisy(na.omit(oilbird.80397[, c("long", "lat")]), metric="euclidean", stand=TRUE)
13 oilbird.db <- dbscan(oilbird.dist, eps=0.2, MinPts=10, method="dist", showplot=FALSE)
14
15 #eps:      Reachability Distance
16 #MinPts:   Reachability minimum no. of points
17 #method:   "dist" treats data as distance matrix (relatively fast but memory expensive)
18 #         "raw" treats data as raw data and avoids calculating a distance matrix (saves memory but may be slow)
19 #         "hybrid" expects also raw data, but calculates partial distance matrices (very fast with moderate memory requirements)
20 #showplot: 0 = no plot, 1 = plot per iteration, 2 = plot per subiteration
21
22 oilbird.db
23
24 #dbscan    = gives out an object of class 'dbscan' which is a LIST with components
25 #cluster   = integer vector coding cluster membership with noise observations (singletons) coded as 0
26 #isseed    = logical vector indicating whether a point is a seed (not border, not noise)
27 #eps       = parameter eps
28 #MinPts    = parameter MinPts
29

```

Douglas-Peucker Algorithmus

```

4
5 library(shapefiles)
6 library(sp)
7
8
9 #Import
10 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
11
12 x <- oilbird.80397$long
13 y <- oilbird.80397$lat
14 points <- list(x=x, y=y)
15
16 #Polyline simplification with dp algorithm
17 #dp (points, tolerance)
18 simpleLine1 <- dp(points, 2)
19 simpleLine2 <- dp(points, 0.05)
20 simpleLine3 <- dp(points, 0.005)
21
22 #SpatialPointsDataFrame
23 coordinates(oilbird.80397) <- c("long", "lat")
24
25 #SpatialLines (aus Punkten Linie erstellen)
26 cc <- coordinates(oilbird.80397)
27 oil.sl <- SpatialLines(list(Lines(list(Line(cc)),"line1")))
28

```

KDE

```

4
5 library(ks)
6 library(sp)
7
8
9 #Import
10 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
11
12 #create points
13 coords2d <- cbind(oilbird.80397$long, oilbird.80397$lat)
14 coords3d <- cbind(oilbird.80397$long, oilbird.80397$lat, oilbird.80397$height.above.ellipsoid)
15
16 #create spatial points
17 sp <- SpatialPoints(coords2d)
18 #create spatial points data frame
19 spdf <- SpatialPointsDataFrame(coords2d, oilbird.80397)
20
21 #kde
22 oilbird.kde2d <- kde(coords2d, positive=TRUE)
23 oilbird.kde3d <- kde(coords3d, positive=TRUE)
24

```

k-Means

```

4
5 library(stats)
6 library(cluster)
7
8
9 #Import
10 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
11
12 x <- oilbird.80397$long
13 y <- oilbird.80397$lat
14 z <- oilbird.80397$height.above.ellipsoid
15
16 #Matrix
17 moilbird <- cbind(x, y, z)
18
19
20 #values in kmeans
21 #cluster:      vector of integers (from 1:k) indicating the cluster to which each point is allocated
22 #centers:      matrix of cluster centres
23 #totss:        total sum of squares
24 #withinss:    vector of within-cluster sum of squares, one component per cluster
25 #tot.withinss: total within-cluster sum of squares, i.e., sum(withinss)
26 #betweenss:   between-cluster sum of squares, i.e. totss-tot.withinss
27 #size:         number of points in each cluster
28
29
30 #kmeans clustering mit 3 clustern
31 oilbird.kmeans <- kmeans(moilbird, 3, iter.max=10, nstart=1)
32
33 #kmeans clustering mit 5 clustern
34 oilbird.cl <- kmeans(moilbird, 5, iter.max=10, nstart=25)
35
36
37
38 #kmeans (Paket 'cluster')
39 d.spalten.oilbird <- c("long", "lat")
40 oilbird.dist <- daisy(na.omit(oilbird.80397[,d.spalten.oilbird]), metric="euclidean", stand=TRUE)
41 summary(oilbird.dist)
42 #6 cluster
43 oilbird.km <- kmeans(oilbird.dist, centers=6, iter.max=10)
44

```

Thiessen-Polygone

```

4
5 library(deldir)
6
7
8 #Import
9 oilbird.80397 <- read.csv("C:/Users/Franzi/Desktop/R-und-ArcGIS/oilbird/80397.csv", header = TRUE, sep = ";")
10
11 x <- oilbird.80397$long
12 y <- oilbird.80397$lat
13
14 #Funktion 'deldir'
15 tv <- deldir(x, y, list(ndx=2, ndy=2), plotit=TRUE)
16
17 #the colour numbers for plotting triangulation, tessellation, data points, dummy points, and point numbers, in that order
18 plot(tv, add=FALSE, wlines="both", wpoints="real",
19      cex=1,
20      col=c("green", "blue", "deeppink"),
21      lty=NULL,
22      pch=20,
23      main="oilbird 80397",
24      xlab="Längengrad",
25      ylab="Breitengrad",
26      showrect=FALSE)
27

```

ANHANG B : FRAGEBOGEN EXPERTENEVALUATION

EXPERTENBEFRAGUNG

ACQUISITION OF EXPERT KNOWLEDGE

VORWORT

PREFACE

Das Ziel meiner Masterarbeit ist ein konzeptueller Entwurf einer multiskalaren Darstellung, in der die Möglichkeit bestehen soll, anhand einer gewählten Bewegungsart und Skala eine passende Aggregationsmethode vorzuschlagen. Die Expertenbefragung soll die visualisierten Ergebnisse der aggregierten Bewegungsdatensätze qualitativ beurteilen. Es geht vor allem um die Evaluation der Visualisierungen anhand statischer Abbildungen, in denen versucht wurde, möglichst viele Aspekte der Anforderungsanalyse umzusetzen. Die Resultate dieser Befragung sollen Rückschlüsse auf die zuvor evaluierten Methoden erlauben sowie zeigen, welche Aggregationsmethode mit welcher Skala am besten harmonisiert respektive problematisch ist.

The aim of my master thesis is a conceptual design of a multi-scale representation. Regarding this, there should be an opportunity, where the researcher can choose a suitable aggregation method based on movement behaviour and scale. The acquisition of expert knowledge is supposed to have a qualitative evaluation of the visualised results of aggregated movement data. Based on the aspects of a demand analysis, the intention was to translate as much as possible in the technical implementation. In the end, it should be possible to draw inferences from the findings of this survey about the previous evaluated methods to show which aggregation methods fit best/poor at which scale.

TESTDATENSÄTZE

TEST CASES

Es gibt drei verschiedene Testdatensätze: (1) Truthahngeier mit Migrationsbewegungen, (2) Fettschwalme auf Nahrungssuche und (3) Fischermarder mit Korridorverhalten. Zu jedem Datensatz wurden entsprechende Aggregationsmethoden ausgewählt und visualisiert.

Fragenblock A bezieht sich auf eine Methode für alle drei Bewegungsarten für einzelne Individuen sowie in der Gruppe. Fragenblock B zeigt individuelle Darstellungen für Individuen zweier Bewegungsarten und Fragenblock C zeigt spezifische Illustrationen für die Gruppe einer Bewegungsart. Bei jeder Frage besteht die Möglichkeit, etwaige Kommentare für gelungene oder problematische Umsetzungen zu machen und Verbesserungsvorschläge zu notieren.

There are three different test cases: (1) Turkey Vultures with migration movements, (2) Oilbirds on foraging and (3) Fishers with corridor behaviour. For each data set were corresponding aggregation methods chosen and appropriate visualised. Questionnaire A refers to one method for all three movement behaviours for individuals as well as for groups. Questionnaire B shows individual representations for individuals of two movement behaviours and Questionnaire C shows specific illustrations for a group of one movement behaviour. At every single question exists the opportunity to write down comments on good/bad representations and to note suggestions for improvements.

EINSTIEGSFRAGEN**FIRST QUESTIONS**

Was ist Ihr Forschungsschwerpunkt?

What is your focus of research?

Welche Tierart(en) erforschen Sie?

At which animal species do you do your research?

Wie sind Ihre Kenntnisse hinsichtlich R und ArcGIS?

What is your knowledge regarding R and ArcGIS?

Welche Werkzeuge/Methoden nutzen Sie zur Analyse Ihrer Daten?

Which tools/methods do you use to analyse your data?

Was ist Ihre gängige Darstellung der Daten (Karte, Grafik, Diagramme etc.)?

What is your most used visualisation of your data (map, graphic, diagram etc.)?

Hintergrundwissen**Background knowledge**

- Kernel Density Estimation
- Voronoi diagram
- Douglas-Peucker algorithm
- k-Means
- Line Density
- DBSCAN

FRAGENBLOCK A
QUESTIONNAIRE A**(1) Migration - Individuum**
Migration - Individual

Die Darstellung ist auf der ...?
The representation is ..?

Makroskala
Macro scale

- Gut
Good
- Akzeptabel
Acceptable
- Schlecht
Bad
- Unbrauchbar
Useless

Mesoskala
Meso scale

- Gut
Good
- Akzeptabel
Acceptable
- Schlecht
Bad
- Unbrauchbar
Useless

Mikroskala
Micro scale

- Gut
Good
- Akzeptabel
Acceptable
- Schlecht
Bad
- Unbrauchbar
Useless

Kommentar:
Comment:

- Dieser Fragenblock ist stellvertretend für alle Abbildungen zu verstehen. -

ABSCHLUSS
CONCLUSION

Vielen herzlichen Dank für Ihre Bewertung!
Many thanks for your evaluation!

Würden Sie für eventuelle Rückfragen zur Verfügung stehen? Falls JA, wie lautet Ihre E-Mail-Adresse?
Would you be available for any further questions? If YES, what is your email address?

Möchten Sie eine Zusammenfassung der Ergebnisse oder der gesamten Arbeit im PDF-Format erhalten? Falls JA, wie lautet Ihre Email-Adresse?
Would you like to receive a summary of the survey or the entire master thesis as PDF? If YES, what is your email address?

Fragenblock A

Questionnaire A

Hintergrundwissen
Background knowledge

Kernel Density Estimation (KDE)

KDE dient hauptsächlich der Analyse von Punkt- oder Polylinien-Features. Dabei wird z.B. aus den Punktdaten eine kontinuierliche Oberfläche generiert, indem eine Kerndichteschätzfunktion angewendet wird. Dieses Vorgehen eignet sich vor allem für die Identifizierung von Hot Spots in grossen Punktdatensätzen. Dabei ist jedoch nur eine kreisförmige Nachbarschaft möglich und der gewählte Radius hat dabei den grössten Einfluss auf das Endergebnis.

The primary function of KDE is an analysis of point or polyline features. Thereby, a continuous surface is generated of point data by applying a kernel density estimation function. This approach is suited for the identification of hot spots in great point data sets. But there is only a circular neighbourhood possible and the chosen radius has the most influence on the final result.

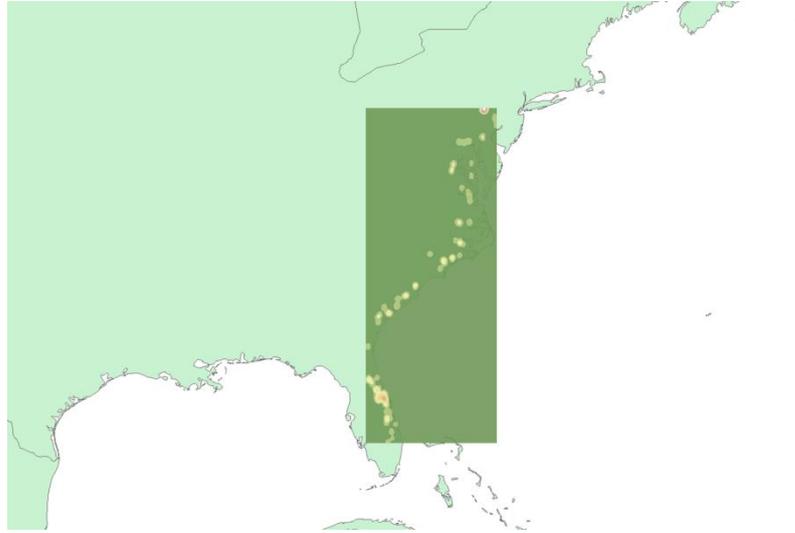
Voronoi diagram

Das Voronoi-Diagramm für eine Punktemenge ist eine Einteilung der Ebene in Gebiete gleicher nächster Nachbarn. Je kleiner die Voronoi-Regionen (Einzugsbereiche der Punkte), desto dichter liegen die Punkte beieinander. Andere Bezeichnungen sind Thiessen-Polygone oder Dirichlet-Zerlegung.

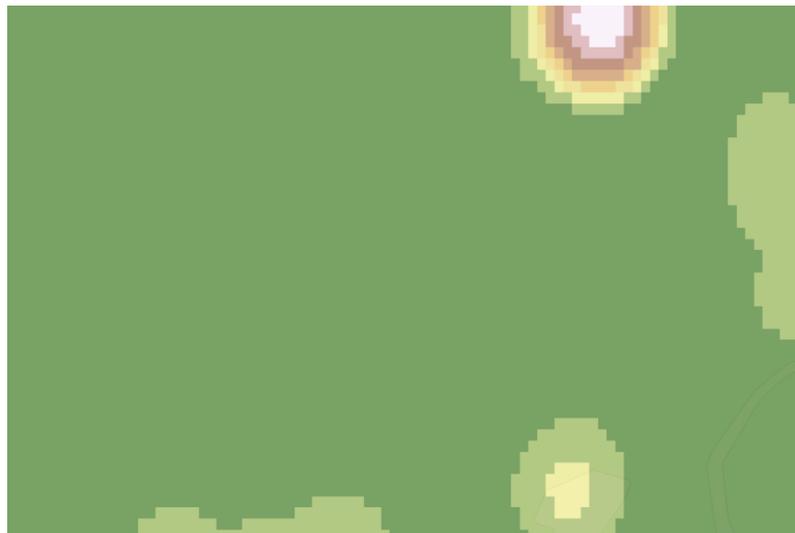
The Voronoi diagram for point sets is a classification of the surface in regions of similar nearest neighbours. The smaller the Voronoi regions (catchment area of points) the denser the points. Synonyms are Thiessen polygons or Dirichlet tessellation.

(1) **Migration - Individuum (Nordamerika)**
Migration - Individual (North America)

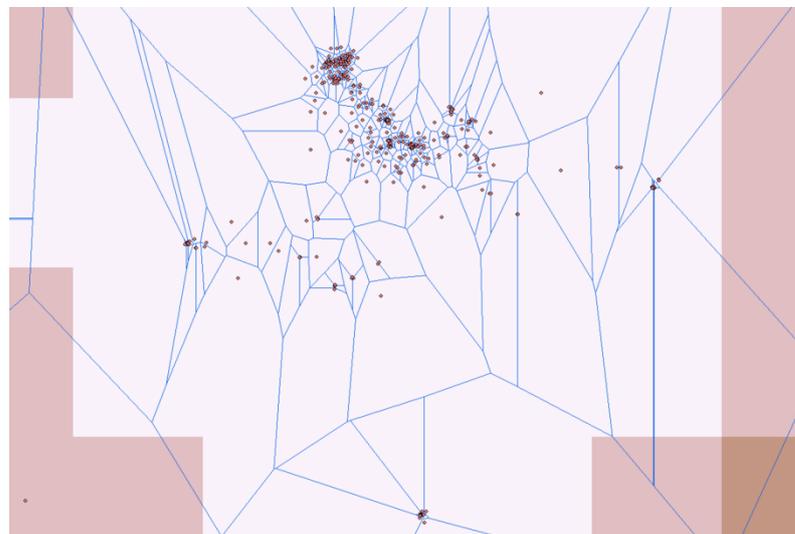
Makroskala / Macro scale
1 : 12'500'000



Mesoskala / Meso scale
1 : 750'000

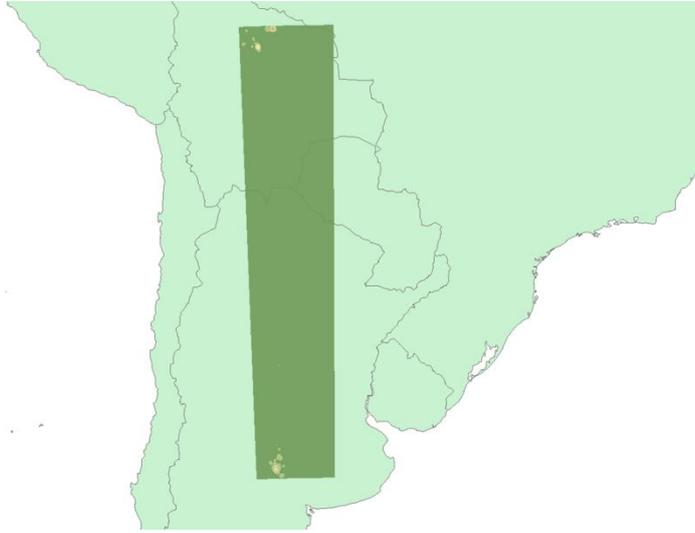


Mikroskala / Micro scale
1 : 50'000

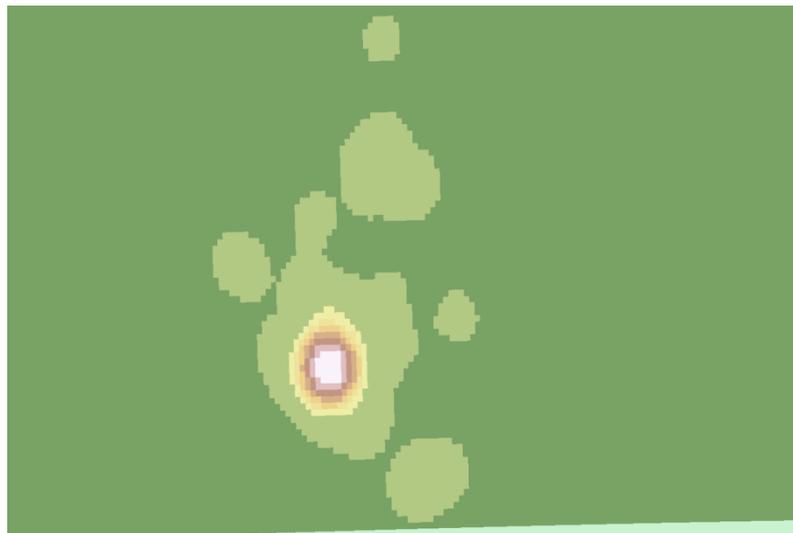


(1) **Migration - Individuum (Südamerika)**
Migration - Individual (South America)

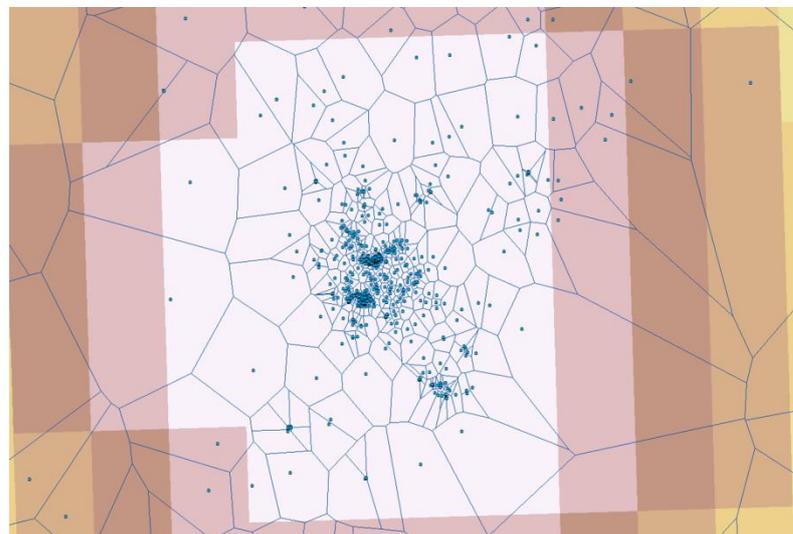
Makroskala / Macro scale
 1 : 12'500'000



Mesoskala / Meso scale
 1 : 750'000

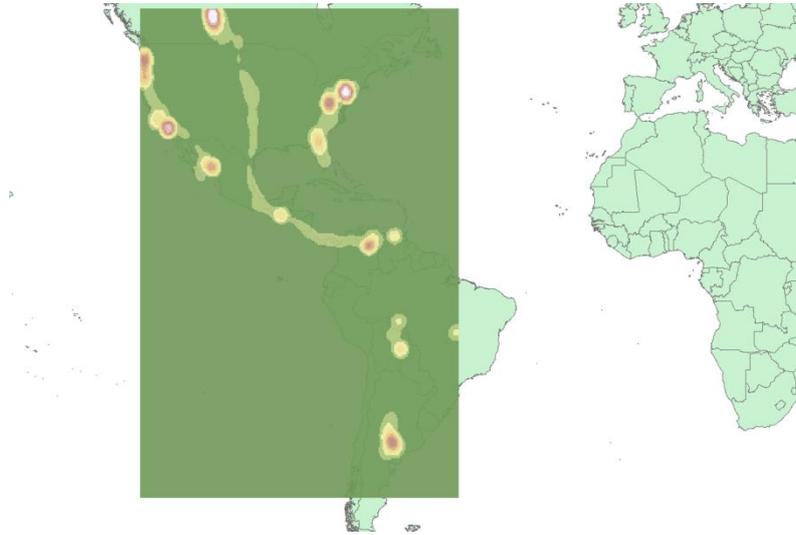


Mikroskala / Micro scale
 1 : 50'000

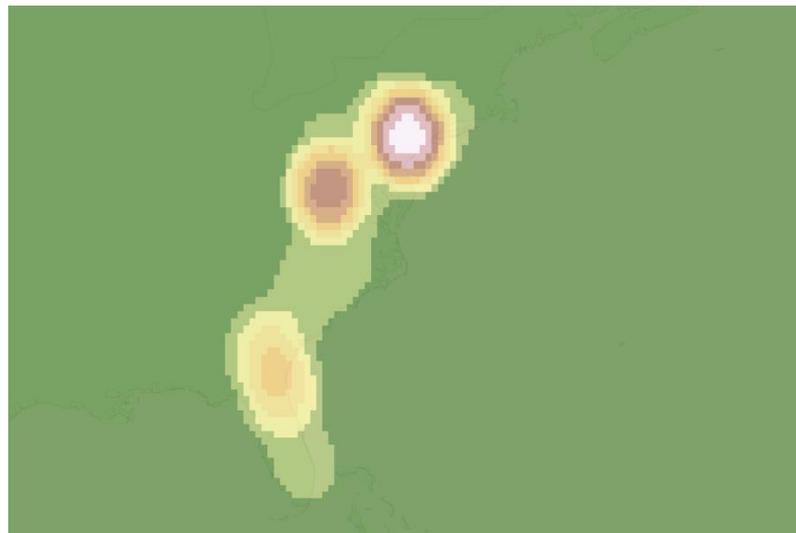


(1) Migration - Gruppe
Migration - Group

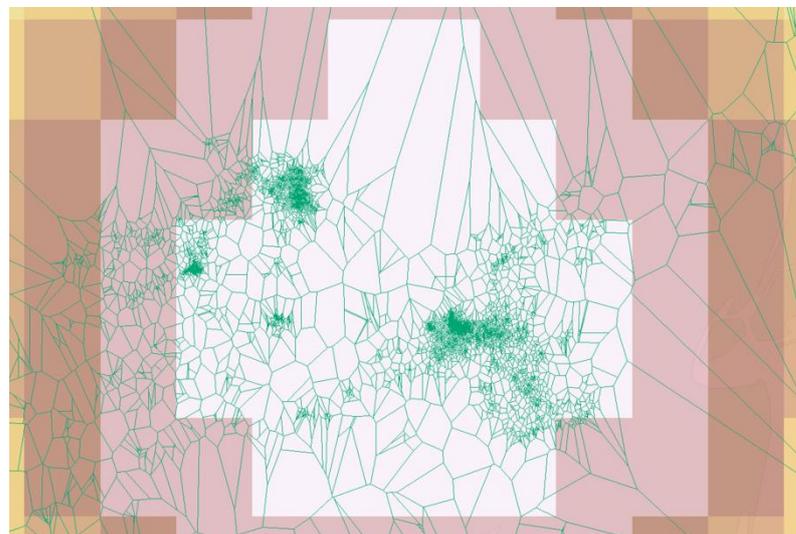
Makroskala / Macro scale
1 : 60'000'000



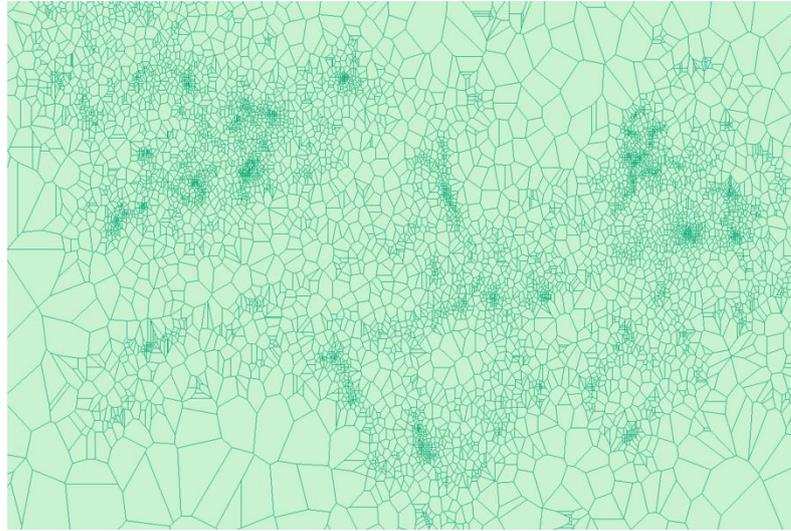
Mesoskala / Meso scale
1 : 12'500'000



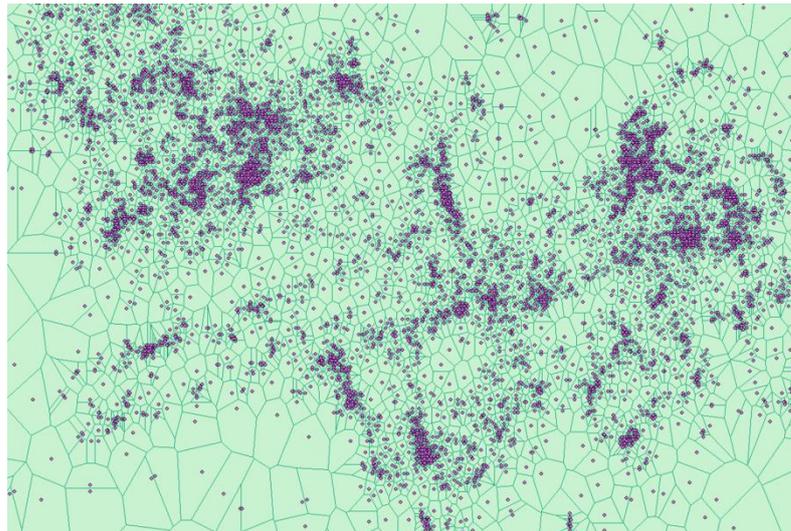
Mikroskala / Micro scale
1 : 1'000'000



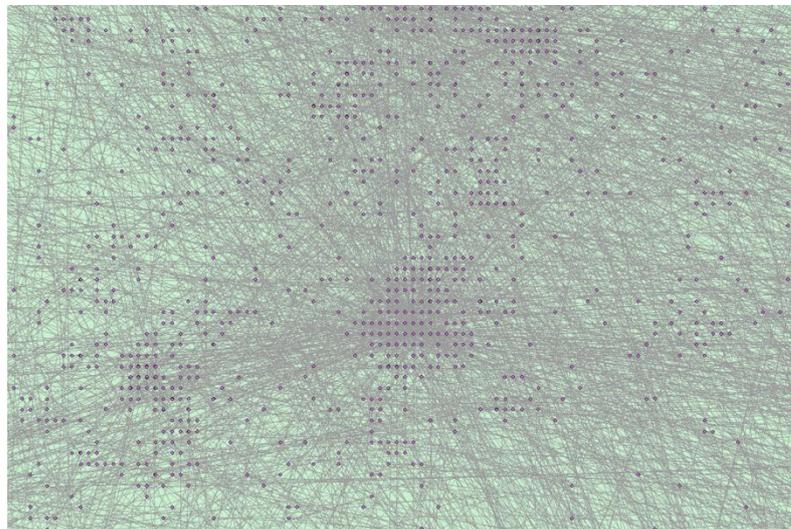
1 : 25'000



1 : 25'000



1 : 5'000

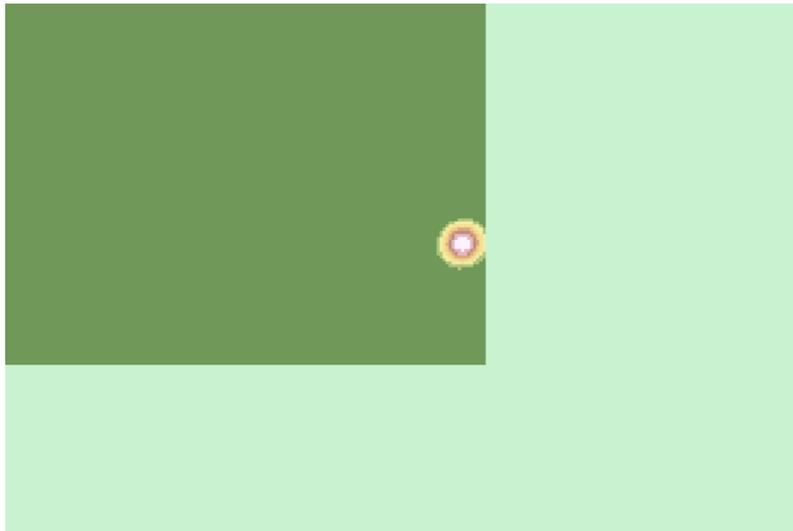


(2) Nahrungssuche - Individuum
Foraging - Individual

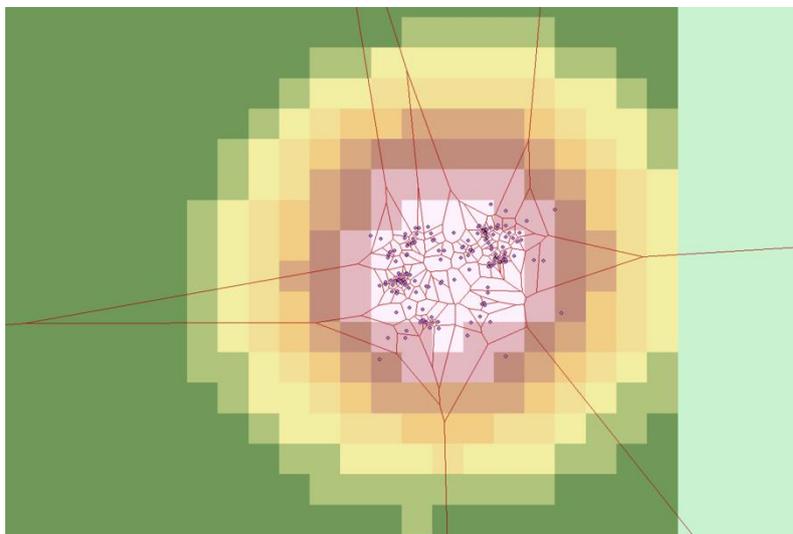
Makroskala / Macro scale
1 : 250'000



Mesoskala / Meso scale
1 : 20'000

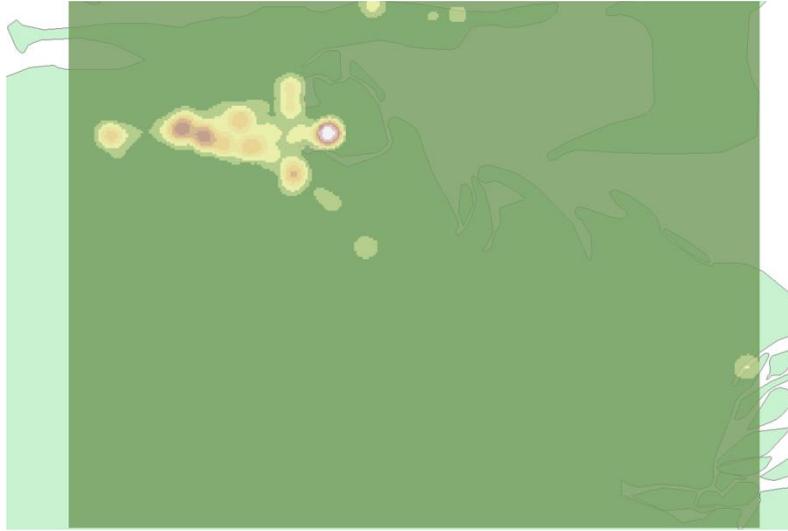


Mikroskala / Micro scale
1 : 2'000

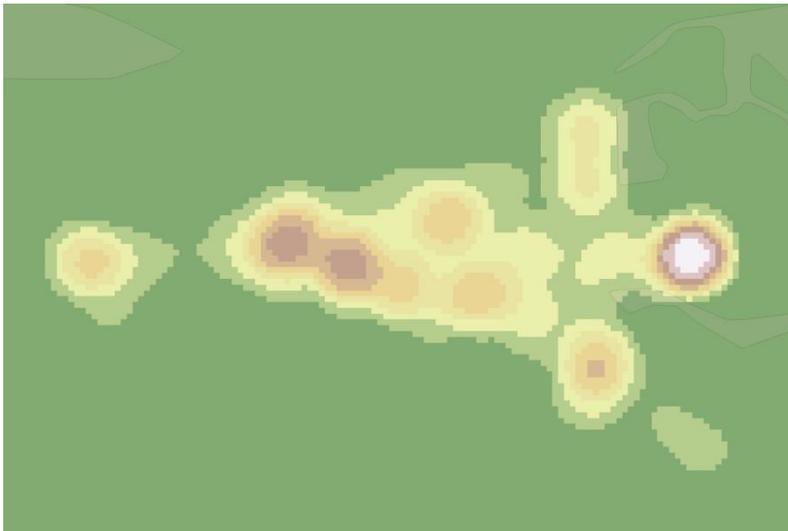


(2) **Nahrungssuche - Gruppe**
Foraging - Group

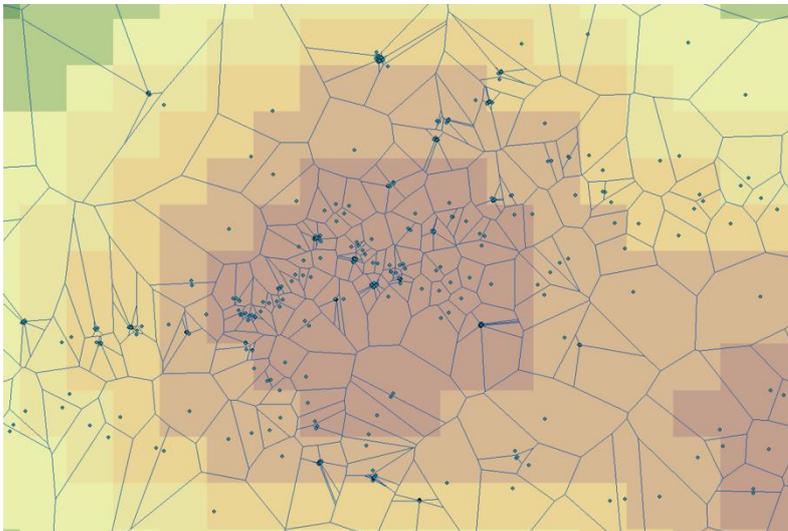
Makroskala / Macro scale
 1 : 1'100'000



Mesoskala / Meso scale
 1 : 400'000



Mikroskala / Micro scale
 1 : 50'000

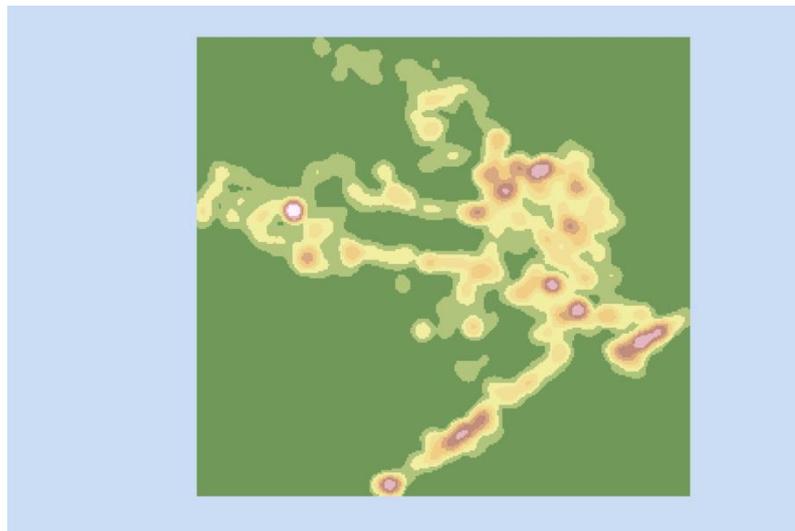


(3) **Korridor - Individuum**
Corridor - Individual

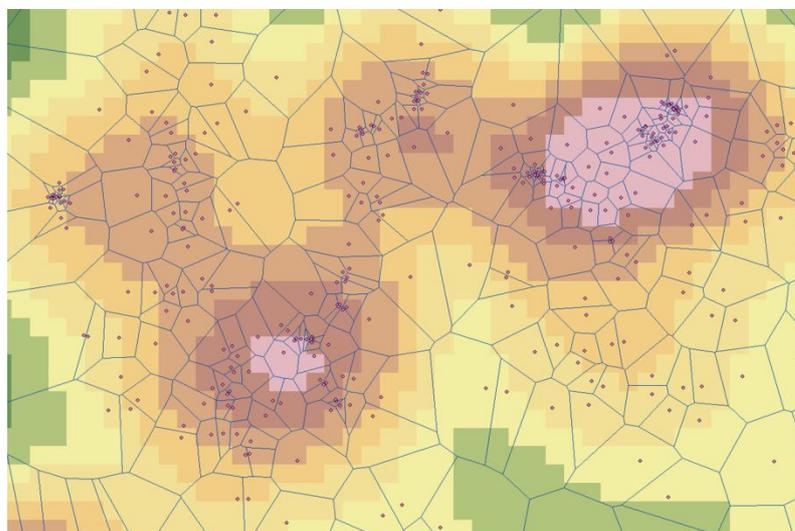
Makroskala / Macro scale
1 : 250'000



Mesoskala / Meso scale
1 : 20'000

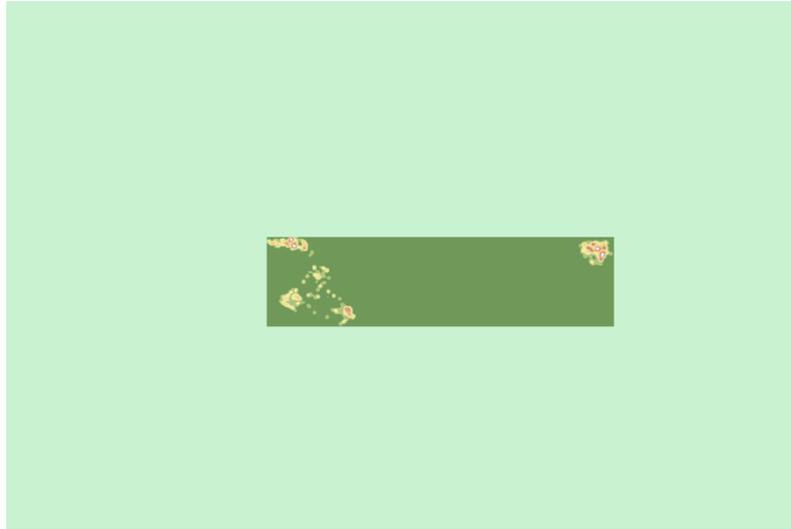


Mikroskala / Micro scale
1 : 2'000

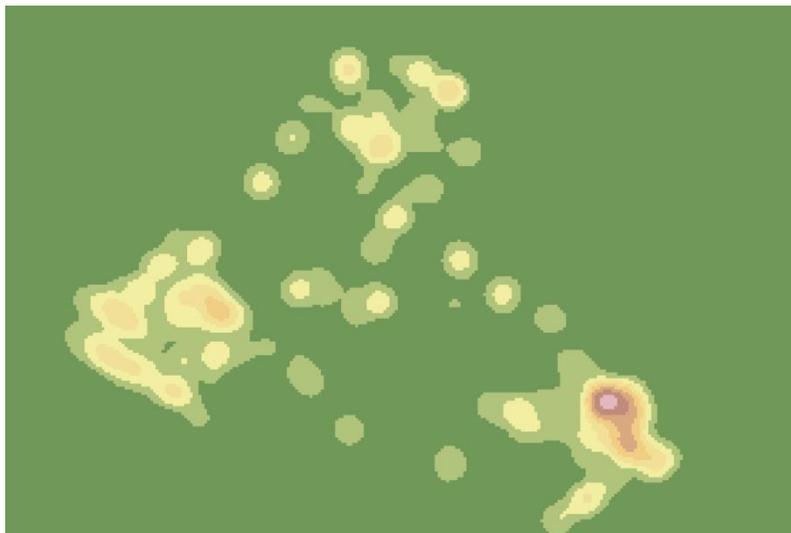


(3) Korridor - Gruppe
Corridor - Group

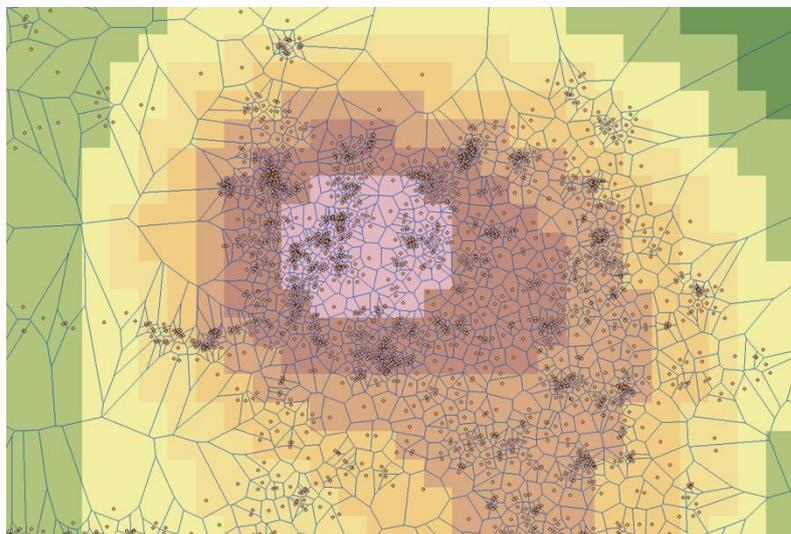
Makroskala / Macro scale
1 : 400'000



Mesoskala / Meso scale
1 : 50'000



Mikroskala / Micro scale
1 : 5'000



Fragenblock B

Questionnaire B

Hintergrundwissen *Background knowledge*

Douglas-Peucker algorithm

Der erste und letzte Punkt einer Linie wird durch eine Sehne verbunden, wobei Lote auf diese Sehne berechnet und mit der Toleranz verglichen werden. Derjenige Punkt, der die Toleranz am meisten überschreitet, wird ausgewählt und von diesem aus zu den beiden Start- und Endpunkten neue Sehnen gezogen, usw.

The first and the last point of a line are connected by a chord. The perpendiculars of every vertex on that chord are calculated and compared with the tolerance value. The vertex with the maximum deviation will be chosen and two new chords are drawn to the original start and end points, etc.

k-Means

k-Means ist eine Methode zur Gruppierung von Objekten, da er schnell die Zentren der Cluster findet. Der Nutzer muss allerdings zuvor die gewünschte Anzahl an Clustern definieren sowie die Felder anhand derer die Cluster gebildet werden sollen. Anschliessend gruppiert der Algorithmus gleiche Datenpunkte entsprechend dieser k-Cluster.

k-Means clustering is a method of grouping data because of a fast detection of cluster centres. Before starting the algorithm, the user specifies the number of groups and the fields that contain the relevant data. Following this, the algorithm groups similar records into each of those k-clusters.

Line Density

Line Density berechnet die Dichte von linearen Objekten, die sich innerhalb der Nachbarschaft um die einzelnen Ausgabe-Raster-Zellen befinden. Die Dichte wird in Längeneinheiten pro Flächeneinheit berechnet. Im Grunde wird mit dem Suchradius ein Kreis um jeden Raster-Zellenmittelpunkt gezeichnet. Die Länge des Teiles jeder Linie, die in den Kreis fallen, wird mit seinem „Population field-Wert“ multipliziert. Diese Zahlen werden addiert und der Gesamtbetrag wird durch die Fläche des Kreises geteilt.

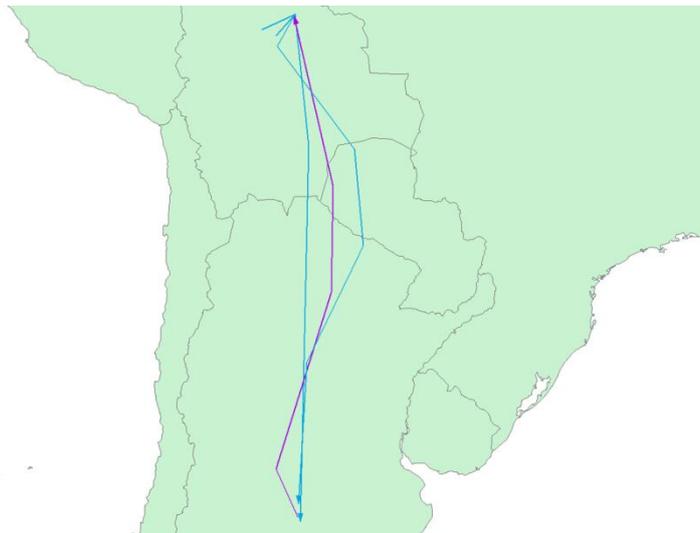
Line Density calculates the density of linear features in the neighbourhood of each output raster cell. Density is calculated in units of length per unit of area. Conceptually, a circle is drawn around each raster cell center using the search radius. The length of the portion of each line that falls within the circle is multiplied by its Population field value. These figures are summed, and the total is divided by the circle's area.

(1) **Migration - Individuum (Südamerika)**
Migration - Individual (South America)

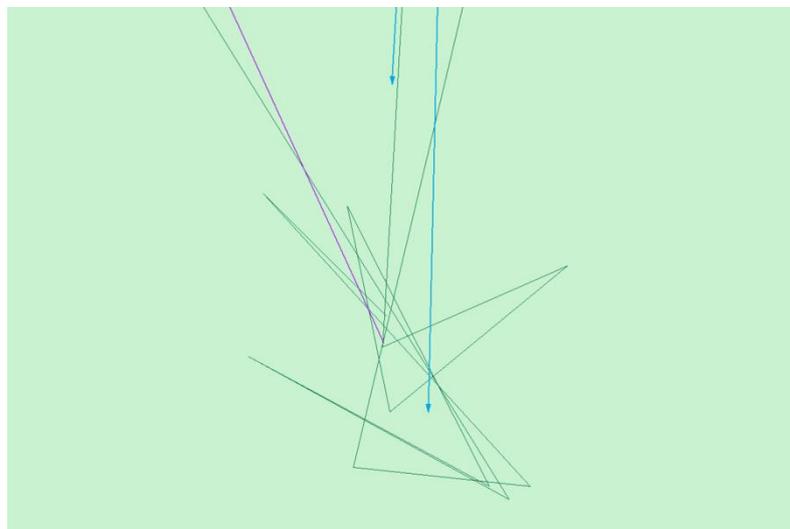
Makroskala / Macro scale
 1 : 35'000'000



Mesoskala / Meso scale
 1 : 11'000'000



Mikroskala / Micro scale
 1 : 600'000

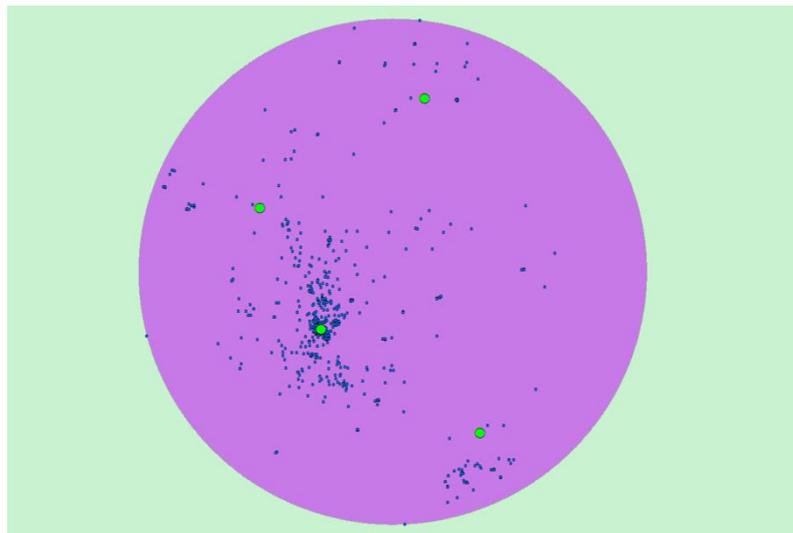


(1) Rastgebiete bei Migration - Individuum (Südamerika)
Stopovers of Migration - Individual (South America)

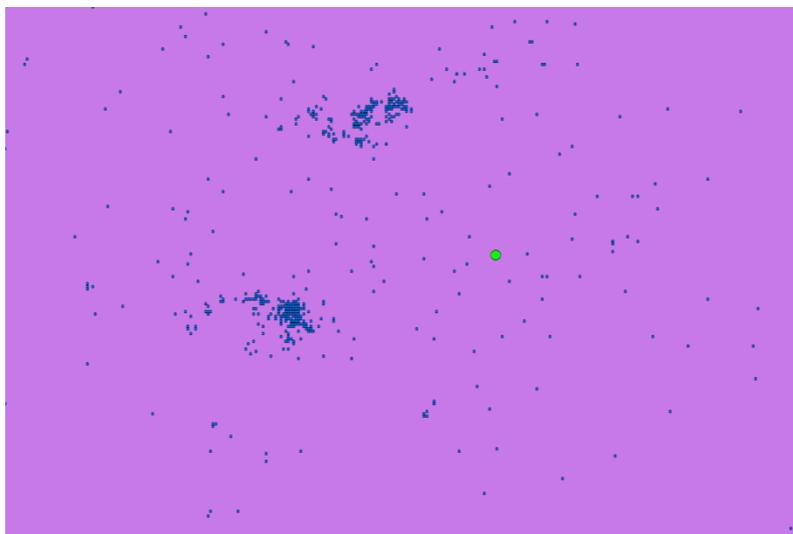
Makroskala / Macro scale
1 : 35'000'000



Mesoskala / Meso scale
1 : 600'000

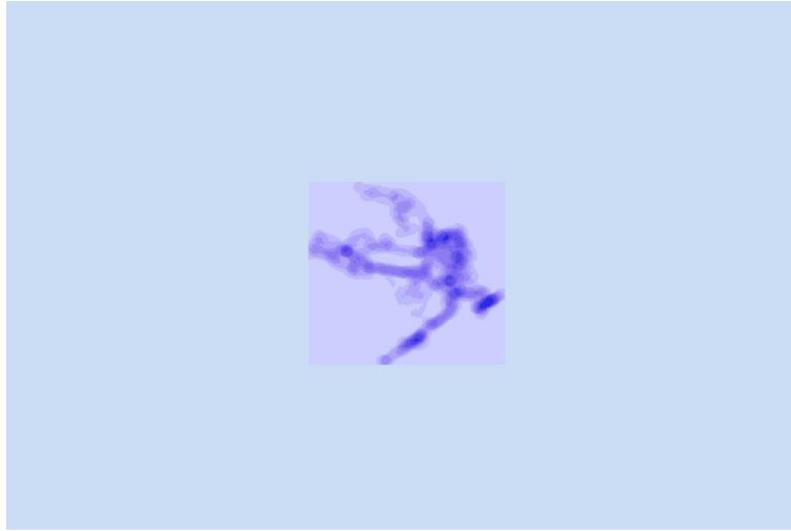


Mikroskala / Micro scale
1 : 10'000

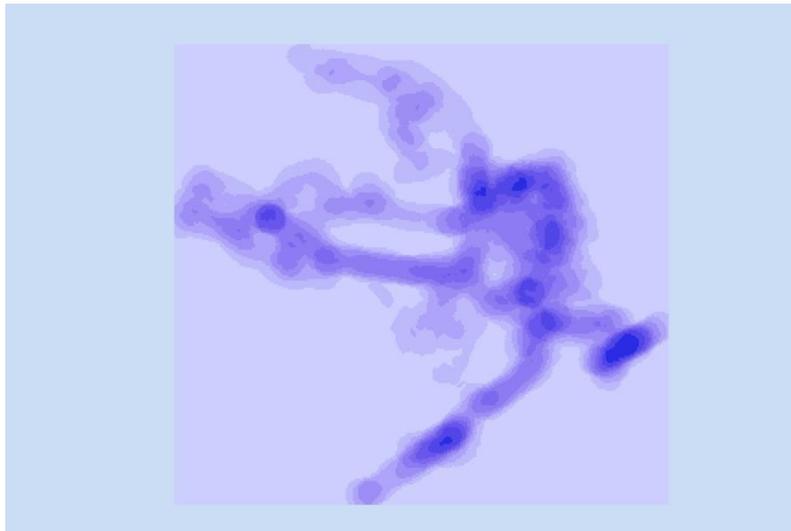


(3) **Korridor - Individuum**
Corridor - Individual

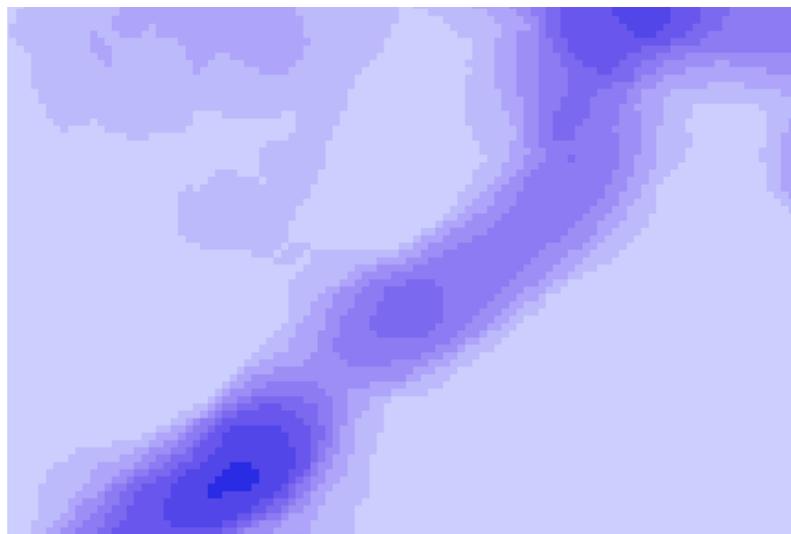
Makroskala / *Macro scale*
1 : 50'000



Mesoskala / *Meso scale*
1 : 20'000



Mikroskala / *Micro scale*
1 : 5'000



Fragenblock C

Questionnaire C

Hintergrundwissen *Background knowledge*

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)

DBSCAN ist ein dichtebasierter Data-Mining-Algorithmus, welcher entwickelt wurde um Cluster sowie Rauschen (Noise) zu erkennen. Die Dichte wird anhand einer bestimmten Anzahl an Punkten (MinPts) definiert, die sich innerhalb eines gewissen Radius (Eps) befinden. DBSCAN ist sehr effizient in der Erkennung von Clustern mit beliebigen Formen. Für kleinere räumliche Datenmengen (bis zu 5'000 Datenobjekten) arbeitet dieser Algorithmus sehr effektiv und kann einfach implementiert werden.

DBSCAN is a density-based data mining algorithm which was developed to identify cluster and noise. The density is defined by a specific number of points (MinPts) which are located within a certain radius (Eps). DBSCAN is very efficient in the detection of cluster of arbitrary shapes. This algorithm works very well for small spatial data sets (up to 5'000 data point) and will be implemented very easy.

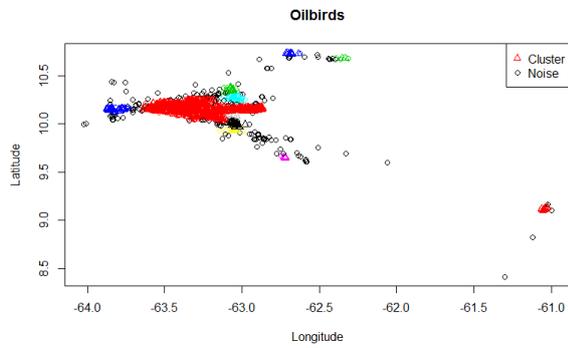
k-Means

k-Means ist eine Methode zur Gruppierung von Objekten, da er schnell die Zentren der Cluster findet. Der Nutzer muss allerdings zuvor die gewünschte Anzahl an Clustern definieren sowie die Felder anhand derer die Cluster gebildet werden sollen. Anschliessend gruppiert der Algorithmus gleiche Datenpunkte entsprechend dieser k-Cluster.

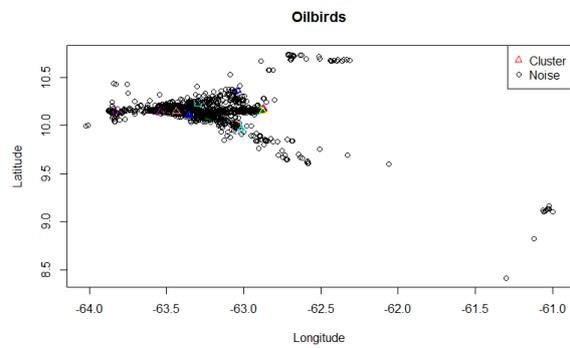
k-Means clustering is a method of grouping data because of a fast detection of cluster centres. Before starting the algorithm, the user specifies the number of groups and the fields that contain the relevant data. Following this, the algorithm groups similar records into each of those k-clusters.

(2) Nahrungssuche - Gruppe
Foraging - Group

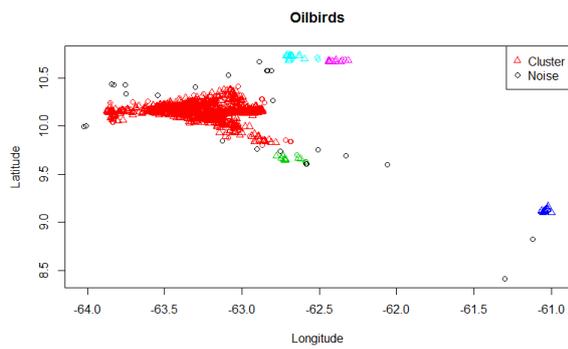
DBSCAN



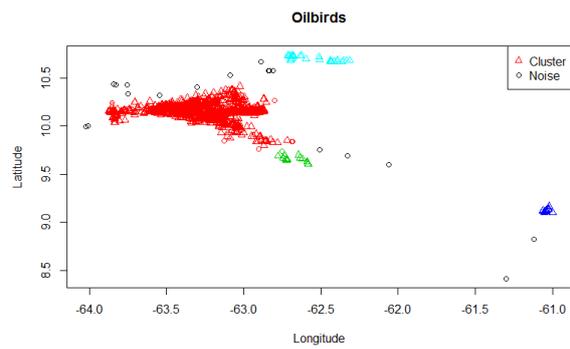
DBSCAN 1



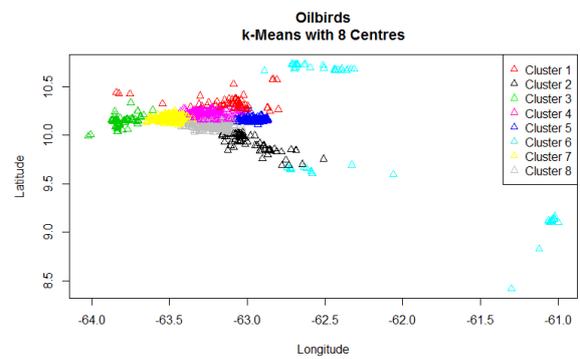
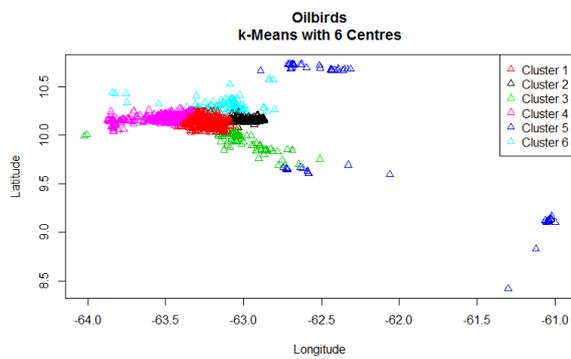
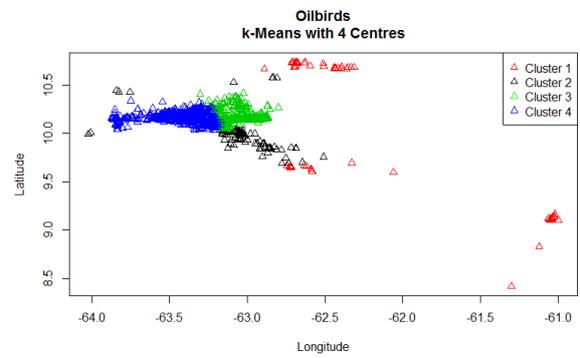
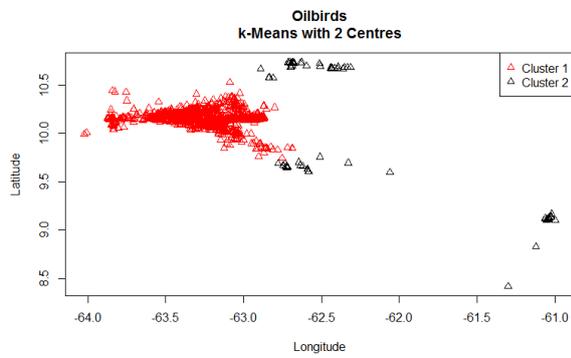
DBSCAN 2



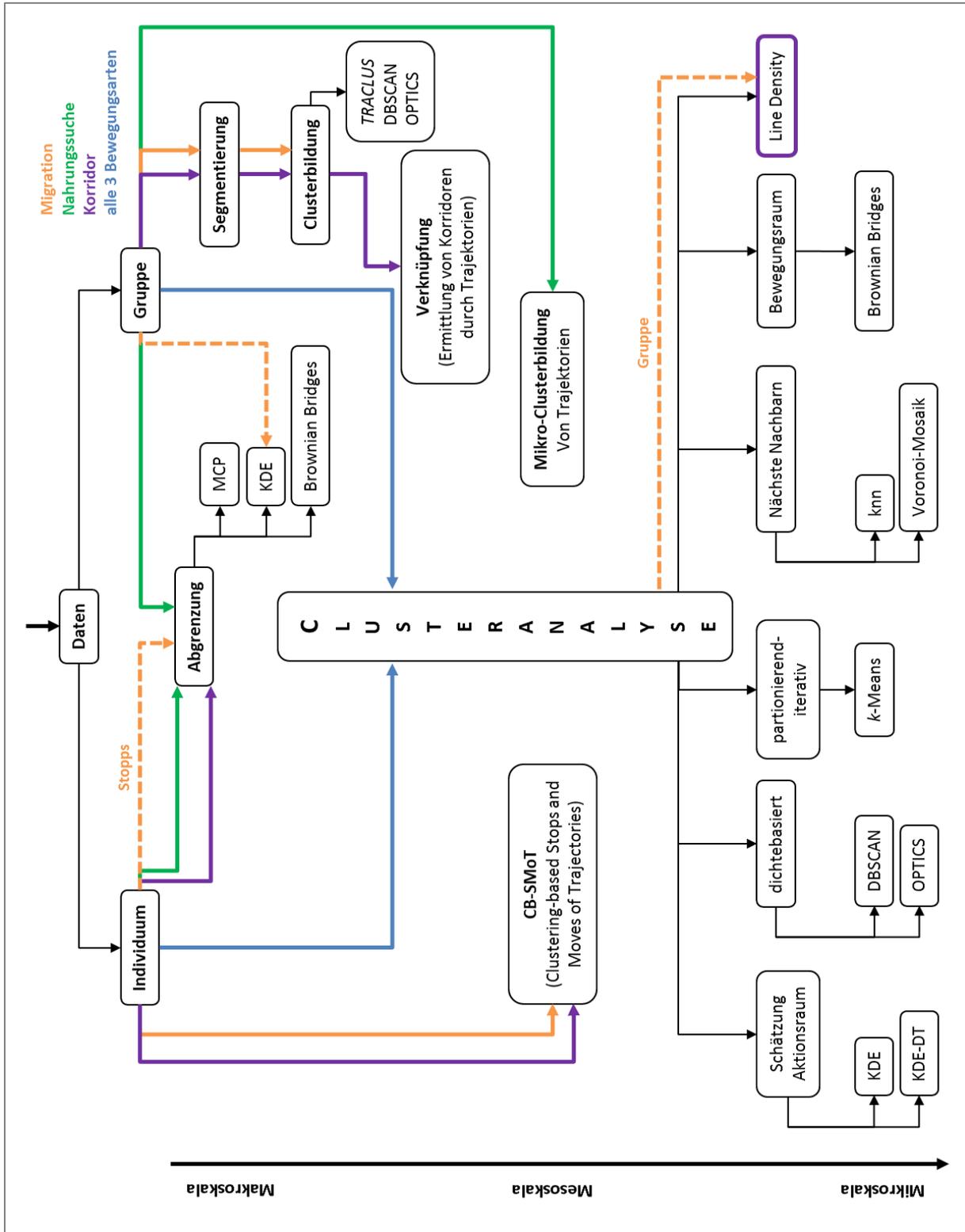
DBSCAN 3



(2) **Nahrungssuche - Gruppe**
Foraging - Group



ANHANG C: ENTSCHEIDUNGSBAUM



PERSÖNLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Pfungen, 30.01.2014

Franziska Appelt