
GEO 511: Masterarbeit

**Einfluss des Geländes auf
ökologische
Eignungsanalysen**

30. April 2014

Betreut von:

Prof. Dr. Robert Weibel, Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Zürich

Dr. Patrick Laube, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW

Dr. Ruedi Haller, Schweizerischer Nationalpark

Autor:

Pascal Bürki

08-740-672

Kontaktinformationen

Autor

Pascal Bürki
Mühlackerstrasse 69b
9436 Balgach
pascal.buerki@uzh.ch

Institut

Geographisches Institut der Universität Zürich
Winterthurerstrasse 190
8057 Zürich

Zusammenfassung

Ein grosses Ziel geographischer Forschungen ist das Erstellen möglichst genauer Repräsentationen unserer Umwelt. Abbildungen der Realität in geographischen Informationssystemen wurden vorerst in einer projizierten 2D-Fläche entwickelt. Da aber vieles um uns herum einen Bezug zur Höhe bzw. zu Höhendifferenzen hat, wurden bereits einige Bemühungen unternommen die Realität dreidimensional abzubilden. Dieser Effort konzentrierte sich bislang hauptsächlich auf die Strukturierung solcher Abbildungen sowie auf deren Visualisierung. Räumliche Analysen, wie ökologische Modellierungen, wurden dabei etwas ausser Acht gelassen, obwohl auch diese durch die Topographie beeinflusst werden.

Aufgrund dessen untersucht diese Arbeit die Auswirkungen des Geländecharakters auf räumliche Analysen. Das Ziel ist erstens zu zeigen, dass es funktioniert geländeberücksichtigende Methoden in Analysen einzubauen und zweitens den Einfluss dieser aufzuzeigen. Mit einer Vorstudie zur dreidimensionalen Längen- und Flächenberechnung wird der Effekt ein erstes Mal abgeschätzt. Durch Experimente mit Distanzfunktionen in der Umgebung von ArcGIS wird der Einfluss konkret getestet. In Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Nationalpark wird eine Studie ausgewählt, von der gedacht wird, dass das Gelände einen Einfluss auf die Resultate liefern könnte. Als geeignet wird eine Multikriterienanalyse mit Bartgeiern empfunden. Die Studie wird für den Zweck dieser Arbeit reproduziert und komplett auf der Oberfläche durchgeführt. Um dies zu bewerkstelligen, müssen vorerst alternative Funktionen gefunden werden. Eine Methode, die sich eines Kostenentfernungsalgorithmus bedient, erfüllt die Voraussetzungen für eine Anwendung. Diese können so genutzt werden, dass als Ergebnis die Distanz zwischen einzelnen Zellen resultiert. Dabei liegt der Vorteil darin, dass Distanzen unter Einbezug eines Höhenmodell über Oberflächen gerechnet werden.

Danksagung

Als erstes möchte ich meinen Betreuern Dr. Patrick Laube und Prof. Dr. Robert Weibel für ihre ideenreiche Unterstützung, ihre zahlreichen Beiträge und die angenehme Zusammenarbeit danken.

Zweitens möchte ich Dr. Ruedi Haller vom Schweizerischen Nationalpark für die wertvolle Unterstützung bei der Auswahl einer geeigneten Studie danken. Des Weiteren hat der Nationalpark freundlicherweise einige Daten für die Entwicklung dieser Arbeit zur Verfügung gestellt. Dafür möchte ich dem SNP herzlichst danken.

Drittens möchte ich Ronald Schmidt vom Geographischen Institut der Universität Zürich meinen Dank aussprechen. Er hat mich stets mit der Datenbereitstellung und Datenhandhabung unterstützt. Für eine experimentelle Phase konnte ich freundlicherweise einen Laptop von ihm ausleihen.

Viertens möchte ich den weiteren Personen vom GIUZ danken, wie der ganzen IT und Doktorand Christian Gschwend, die mir mit Rat zur Seite standen, wenn Probleme auftauchten.

Fünftens danke ich herzlichst der KID Treuhand GmbH aus Balgach, die mir während der gesamten Arbeitszeit freundlicherweise einen Arbeitsplatz in ihrem Büro zur Verfügung gestellt hat.

Letztens möchte ich meiner Familie, meiner Freundin, Freunden und Kommilitonen danken, die mich während dieser Arbeit und dem ganzen Studium an der Universität Zürich unterstützt, ermutigt und bestärkt haben.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xi
Symbolverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Kontext und Motivation	1
1.2 Allgemeine Fragestellung	1
1.3 Zielsetzung	2
1.4 Aufbau der Arbeit	2
2 Hintergrund	5
2.1 3D-GIS	5
2.2 Multikriterienanalyse	6
2.3 Räumliche Analysen auf Oberflächen	7
2.4 Sensitivität von GIS-Funktionalitäten	8
2.4.1 Elemente einer räumlichen Analyse	8
2.4.2 Geländesensitive Funktionen in ArcGIS	8
2.5 Forschungslücken und Forschungsfragen	9
3 Vorstudie im Schweizerischen Nationalpark	11
3.1 Untersuchungsgebiet	11
3.2 Methodik	11
3.2.1 Datengrundlage	12
3.2.2 Berechnung in ArcGIS	12
3.3 Resultate	13
3.3.1 Fläche	13
3.3.2 Umfang	15
3.4 Diskussion	17
3.5 Fazit	18
4 Methodischer Ansatz	19
5 Fallstudie Eignungsanalyse: Der Knochenbrecher kehrt zurück	21
5.1 Einleitung	21
5.2 Motivation der Studie	21
5.3 Untersuchungsgebiet	22
5.4 Datenlage	23
5.5 Methodik	23
5.6 Kriterien	23
5.6.1 Nistplatzpotential	23
5.6.2 Eignungspotential	25

5.6.3	Störpotential	26
5.7	Schlussfolgerungen von Ryffel (2008)	27
5.8	Begründung der Wahl	27
6	Methode: Puffer auf Oberfläche	29
6.1	Betrachtung eines Puffers	29
6.2	Möglichkeiten der Erstellung eines Puffers in ArcGIS	29
6.2.1	Distanzpuffer	29
6.2.2	Kostenentfernung	29
6.3	Puffergenerierung	31
7	Experimente mit Puffern auf Oberflächen	33
7.1	Experiment 1: Sensitivität von Puffern auf Oberflächen	34
7.1.1	Aufbau	34
7.1.2	Datenlage	34
7.1.3	Puffer um Punktobjekt	34
7.1.4	Puffer um Linienobjekt	35
7.2	Experiment 2: Einfluss von Oberflächenfunktionen in ökologischen Eignungsanalysen	35
7.2.1	Aufbau	35
7.2.2	Datenlage	35
7.2.3	Untersuchungsgebiet	35
7.2.4	Kriterien	35
7.2.5	Potentiale	36
8	Resultate	37
8.1	Experiment 1: Sensitivität von Puffern auf Oberflächen	37
8.1.1	Einfluss der Auflösung	37
8.1.2	Einfluss der Pufferdistanz	41
8.2	Experiment 2: Einfluss von Oberflächenfunktionen in ökologischen Eignungsanalysen	43
8.2.1	Kriterien	43
8.2.2	Gesamtmodell	45
9	Diskussion	51
9.1	Einbezug des Geländecharakters	51
9.2	Einfluss des Geländecharakters	51
9.2.1	Auf Einzelne Pufferobjekte	51
9.2.2	Auf Eignungsanalyse	53
9.3	Evaluation Nachbarschaftsbeziehungen	54
9.4	Weitere Möglichkeiten der Puffergenerierung auf Oberflächen	55
10	Schlussfolgerung	57
10.1	Zusammenfassung	57
10.2	Erkenntnisse	57
10.3	Ausblick	58
	Literatur	61

Abbildungsverzeichnis

2.1	Linienpuffer in 2D und deren Projektion auf eine schiefe Ebene, nach Li et al. (2005)	7
3.1	Ausdehnung des SNP, Quelle: www.engadin.ch	12
3.2	Fläche des SNP	14
3.3	Unbrauchbare TIN-Repräsentation aus dem DTM4 mit Z-Toleranz = 1	15
3.4	Skizze der Z-Toleranz für die Erstellung eines TIN, Quelle: ArcGIS Help (2014)	15
3.5	Umfang des SNP	16
3.6	Vergleich der Fläche und des Umfangs des SNP	18
5.1	Übersicht über Untersuchungsgebiete	22
5.2	Vorgehen bei der Evaluation des Nistplatzpotentials, Quelle: Ryffel (2008)	24
5.3	Hierarchie und Gewichtung der Kriterien, Quelle: Ryffel (2008)	25
6.1	Berechnung der Kosten auf eine Beispieloberfläche nach Li et al. (2005)	31
6.2	Puffer um Punktobjekt mit den drei Methoden Euclidean Distance, Path Distance 2D und Path Distance 3D	32
7.1	Experimentdesign	33
8.1	Beispiele für Flächenunterschied zwischen Maschenweiten 4 und 50 Metern. Links: 1'000-Meter-Puffer um Punktobjekt; Rechtes: 500-Meter-Puffer um Linienobjekt. Angewandte Methode: Path Distance 3D.	38
8.2	Einfluss der Auflösung bei Punktobjekten (von o.l. nach u.r.: 100, 200, 500 Meter bis 3'000 Meter Puffer)	39
8.3	Einfluss der Auflösung bei Linienobjekten(von o.l. nach u.: 100, 200, 500, 1'000 und 2'000 Meter Pufferdistanz)	40
8.4	Einfluss der Pufferdistanz bei Punktobjekten, Auflösung: 25 Meter	41
8.5	Einfluss der Pufferdistanz bei Linienobjekten, Auflösung: 25 Meter	42
8.6	Ausschnitt aus der Pufferfläche des Kriteriums Tourismus, Pufferdistanz: 1'000 Meter	44
8.7	Einfluss der Pufferdistanz beim Kriterium Tourismus	44
8.8	Ausschnitt aus der Pufferfläche des Kriteriums Anlagen, Pufferdistanz: 1'500 Meter	45
8.9	Einfluss der Pufferdistanz beim Kriterium Anlagen	46
8.10	Ausschnitt aus der Pufferfläche des Kriteriums Lärm, Pufferdistanz: 1'500 Meter	47
8.11	Einfluss der Pufferdistanz beim Kriterium Lärm	47
8.12	Ausschnitt aus der Pufferfläche des Störpotentials, Pufferdistanz: 3'000 Meter	48

8.13	Einfluss der Pufferdistanz beim Störpotential	49
9.1	Vergleich der Nistplatzpotentiale von Ryffel (2008) und der Reproduktion (deckungsleiche Abschnitte)	53
9.2	Differenzbild zwischen einem euklidischen Puffer und einem Puffer, der mit Path Distance 2D erstellt wurde. (weiss: geringer Unterschied; schwarz: grosser Unterschied)	55
9.3	Vergleich zwischen Algorithmus mit 8er-Nachbarschaft (links) und dem Algorithmus Tomlin (2011), Quelle: Tomlin (2011)	56
10.1	Beispiele einer Kernel Density Estimation, Quelle: O'Sullivan and Unwin (2003)	59

Tabellenverzeichnis

1.1	Zielsetzungen	2
2.1	Geländesensitive Funktionen in ArcGIS (A: bezieht bereits ein Höhenmodell mit ein; B: würde sensitiv auf den Geländecharakter reagieren)	9
3.1	Übersicht der Datengrundlage, Quellen: Swisstopo, SNP	13
3.2	Resultate der Flächenberechnung im SNP in verschiedenen Auflösungen mit unterschiedlichen Höhenmodellen	14
3.3	Relative Flächenänderung gegenüber der Projektionsfläche in 2D	14
3.4	Resultate der Umfangberechnung im SNP in verschiedenen Auflösungen und mit unterschiedlichen Höhenmodellen	16
3.5	Relative Flächenänderung gegenüber der Projektionsfläche in 2D	16
5.1	Beschreibung des Kriteriums Felsklippen	25
5.2	Beschreibung des Kriteriums Gestein	25
5.3	Beschreibung des Kriteriums Höhe	25
5.4	Beschreibung des Kriteriums Exposition	26
5.5	Beschreibung des Kriteriums Reliefenergie	26
5.6	Beschreibung des Kriteriums Tourismus	26
5.7	Beschreibung des Kriteriums Anlagen	26
5.8	Beschreibung des Kriteriums Lärm	27
5.9	Beschreibung des Kriteriums Flugverkehr	27
7.1	Übersicht über die Variation der Parameter [m] in Experiment 1	34
7.2	Übersicht über die Variation der Puffergröße [m] in Experiment 2	35
8.1	Relative Flächenänderungen bei Punktobjekt gegenüber der euklidischen Pufferung [%].	41
8.2	Relative Flächenänderungen bei Linienobjekt gegenüber der euklidischen Pufferung [%].	42
8.3	Relative Flächenänderungen der Kriterien von Ryffel (2008) gegenüber der euklidischen Pufferung [%].	43

Abkürzungsverzeichnis

GIS	Geographische Informationssysteme
GIUZ	Geographisches Institut der Universität Zürich
SNP	Schweizerischer Nationalpark
ArcGIS	Sammelbegriff für GIS-Softwarepaket von ESRI
MCE	<i>Multi Criteria Evaluation</i> (Multikriterienanalyse)

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Kontext und Motivation

Es liegt in der Natur unserer Neugierde und jeder geographischen Untersuchung, unseren Lebensraum besser verstehen zu wollen. Diesem Zweck dienen möglichst exakte Repräsentationen unserer Umwelt. Da alles um uns herum einen räumlichen Bezug nicht nur in zwei Dimensionen hat, sondern auch durch eine Höhe definiert ist, erreichen wir genaue Abbildungen nur durch den Einbezug derselben. Dreidimensionale Untersuchungen der Umwelt können daher zur Verbesserung von räumlichen Analysen ihren Nutzen beitragen. Insbesondere Phänomene, bei denen Distanzen, Flächen oder Volumina eine entscheidende Rolle spielen, können durch 3D-Analysen mit höherer Genauigkeit an Entscheidungsträger herangeführt werden, um sie bei der Planung massgeblich zu unterstützen. Für viele GIS-Analysemethoden ist bekannt, dass sie in die 2D-Ebene projizierte Flächen und Distanzen verwenden. Das Wissen um diese Abweichung von der Natur ist bekannt, jedoch gibt es bislang wenig wissenschaftliche Arbeiten über deren Einfluss. Die Auswirkungen dieses systematischen Fehlers wurden in der Vergangenheit eher vernachlässigt. Um dessen Gewicht abzuschätzen, konzentriert sich diese Arbeit vorwiegend auf Distanz- und Flächenberechnungen in der dritten Dimension. Diese geschehen nicht in vollständigen 3D-Repräsentationen, sondern beziehen sich hauptsächlich auf Oberflächen. In wissenschaftlichen Kreisen und in der vorliegenden Arbeit ist daher von 2.5D die Rede. Genauer gemeint sind damit Untersuchungen, die Oberflächen wie digitale Höhenmodelle anstelle von deren Projektion einbeziehen. Der Schweizerische Nationalpark (SNP) bekundet starkes Interesse an einer dreidimensionalen Betrachtung von Analysen. Insbesondere die steilen Gebiete im alpinen Umfeld des Parkes bieten sich zum Einbezug der Höhen in Eignungsanalysen an.

1.2 Allgemeine Fragestellung

Die konkrete Anregung zu dieser Arbeit stammt vom Schweizerischen Nationalpark. Bedingt durch das gebirgige Gelände des Parkgebiets, stellte sich die Parkverwaltung seit längerem die Frage, wie stark sich wohl der (Nicht)Einbezug der Topographie auf GIS-Analysen auswirkt. Die Vermutung ist, dass Eignungsanalysen in alpinem Umfeld sensitiv auf den Geländecharakter reagieren würden, falls dieser miteinbezogen wird. Diese Arbeit widmet sich demzufolge der quantitativen Untersuchung dieses Themas. In geographischen Informationssystemen sollten sich viele Funktionen finden, die vom Gelände beeinflusst werden könnten. Einen interessanten Aspekt bildet dabei die Frage nach den konkreten Auswirkungen des Geländeeffektes auf eine Studie, die bisher mit traditionellen GIS-Methoden durch-

geführt wurde. In wiefern ändern sich räumliche Analysen, wenn das gebräuchliche 2D durch 3D ersetzt wird? Mit dieser und weiteren Fragen beschäftigt sich diese Studie. Die Forschungsfragen sind in Kapitel 2.5 ausformuliert.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit soll sein, zu zeigen, dass der Einbezug des Geländes in einer Eignungsanalyse funktioniert. Es geht darum, die Auswirkungen des Geländecharakters aufzuzeigen. Die in Tabelle 1.1 definierten Ziele sollen es ermöglichen, die oben genannte Fragestellung zu beantworten. Die Ziele sind in drei Hauptebenen gegliedert, welche die chronologischen Schritte in der Arbeit grob beschreiben. In einem ersten theoretischen Teil werden die Hintergründe ausgelegt, welche für diese Arbeit nötig sind. Es sollen Erkenntnisse über dreidimensionale GIS gesammelt und deren Effort aufgezeigt werden. Die Bemühungen im Bereich der räumlichen Analysen auf Oberflächen sollen recherchiert und die Sensitivität von klassischen GIS-Funktionalitäten theoretisch abgeklärt werden. Einen nächsten Schritt bildet eine Vorstudie im Schweizerischen Nationalpark. Hier sollen die effektive Fläche und der wahre Umfang des Parks berechnet und somit ein Fundament für das weitere Vorgehen gelegt werden. Das Hauptziel der Arbeit ist die Abschätzung des Einflusses der Geländeeigenschaften auf räumliche Analysen. Dies geschieht mit Hilfe einer Fallstudie aus der Literatur Ryffel (2008), die zuerst reproduziert und verstanden werden muss. Bevor die Abschätzung geschehen kann, muss allerdings eine Lösung gefunden werden, mittels derer die sensitiven Funktionen in der Fallstudie ergänzt bzw. ersetzt werden können. Die ergänzte Studie wird erneut durchgeführt um so die Arbeit abzurunden.

	Ziele
Hintergrund	Literaturrecherche zu 3D-GIS Literaturrecherche zu räumlichen Analysen auf Oberflächen Sensitivitätsabklärung von GIS-Funktionalitäten auf 2.5D/3D
Vorstudie	Berechnung der effektiven Fläche und des wirklichen Umfangs des SNP
Fallstudie	Auswahl und Reproduktion der Studie von Ryffel (2008) Auffinden alternativer Lösungen und Testen ihrer Anwendbarkeit Durchführung der Studie von Ryffel (2008) mit alternativer Lösung Abschätzung des Einflusses der Geländeeigenschaften auf Fallstudie

Tabelle 1.1: Zielsetzungen

1.4 Aufbau der Arbeit

Nach einem Überblick über die Hintergründe der Arbeit, die mit den daraus resultierenden Forschungsfragen enden, wird die Vorstudie zu einer ersten Abschätzung über den Einfluss von Geländeeigenschaften bei räumlichen Analysen vorgestellt. Deren interessante Resultate geben eine erste Idee über das weitere Vorgehen in der Arbeit. Es folgt ein kurzes Kapitel zum methodischen Grundgedanken, welcher Klarheit über den Aufbau in den weiteren Abschnitten geben wird. In einem nächsten Kapitel wird die ausgewählte Studie präsentiert. Es handelt sich dabei um eine Eignungsanalyse von Bartgeiern, die mehrheitlich mit Distanzpuffern arbeitet. In Kapitel 6 wird die Methode vorgestellt, mit deren Hilfe eine Puffergenerierung über die Oberfläche möglich gemacht wird. Die Methode wird sowohl auf Punkte-, als auch auf Linienobjekt geprüft. Anschliessend folgt Kapitel 7, welches den experimentalen Kernteil dieser Arbeit darstellt. Hier werden quasi die beiden vorherigen Kapitel verschmolzen. Die Eignungsanalyse wird mit der neuen Methode erneut

durchgeführt. Die Resultate finden sich im darauf folgenden Absatz wieder. Zum Schluss werden die Resultate ausführlich diskutiert und in einer Schlussfolgerung zusammengefasst.

Kapitel 2

Hintergrund

Dieses Kapitel soll einen theoretischen Einblick in die verschiedenen Aspekte dieser Arbeit geben. Als Folgerung sollen die Forschungslücken aufgedeckt und die Forschungsfragen ausformuliert werden.

2.1 3D-GIS

Es wurden bereits diverse Studien durchgeführt, in denen die dritte Dimension in einem GIS zum Tragen kam. Im folgenden Kapitel sind einige dieser aufgeführt. In erster Linie werden Visualisierungen von dreidimensionalen Objekten in Angriff genommen (Nebiker, 2003). Ein zweiter Ansatz aktueller Forschung beschäftigt sich mit einer effizienten Datenstruktur, um die entstehenden Datenmengen zu verarbeiten. Der Erfolg von 3D hängt aber laut Ellul and Haklay (2006) von der Fähigkeit ab, Analysen zu ermöglichen, welche wir von den 2D-Systemen kennen. Die Funktionen eines geographischen Informationssystemes werden von Zlatanova et al. (2002) wie folgt spezifiziert:

1. *Data Capture* (Datenaufnahme)
2. *Data Structuring* (Datenstrukturierung)
3. *Data Manipulation* (Datenmanipulation)
4. *Data Analysis* (Datenanalyse)
5. *Data Presentation* (Datenpräsentation)

Die Schwerpunkte in bisherigen Studien lagen vor allem auf der Datenstrukturierung und der Datenpräsentation. Mit spannenden Ansätzen zu Visualisierungen beschäftigen sich zahlreiche Studien, wie Seipel (2012), Faeth et al. (2008) und Shepherd (2008). Gerade Seipel (2012) meint, dass das Potential von 3D-Repräsentationen noch weitgehend unterschätzt wird. Obwohl dieses Thema heute Gegenstand höchst aktueller Forschung ist, wird es in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Dass Untersuchungen mit Einbezug der dritten Dimension nicht bloss ein umfangreiches Forschungsgebiet sind, zeigen Anwendungen über diverse Branchen hinaus. So werden in den Erdwissenschaften, wie in der Geologie, 3D-Modelle bereits lange und extensiv genutzt (Carlson, 1987). Darüber hinaus werden im Militär (Ladner et al., 2001), in der Archäologie (Spikins et al., 2002), in der Stadt- und Katastermodellierung (Grinstein, 2003; Stoter and Salzmann, 2003) und im Notfallschutz (Takino, 2000; Kwan and Lee, 2005) 3D-Anwendungen eingesetzt. Des Weiteren wissen auch nicht-geographische Branchen um die Gunst dieser Betrachtung. So

werden in der Computerchipfabrikation (Ellul and Haklay, 2006), in der Medizin (Kalra et al., 1995; Gross, 1998) und in der Biologie, wobei die Struktur von Proteinen modelliert wird (Martin, 2000), ähnliche 3D-Methoden angewandt. Als Basis für die Datenanalyse in 3D muss eine geeignete Datenstruktur vorhanden sein. Um den riesigen Umgang von 3D-Objekten zu bewältigen, müssen die Daten in eine Datenbankstruktur eingebunden werden (Ellul and Haklay, 2006). Zlatanova et al. (2002) sagte eine Entwicklung voraus, die sich vom individuellen System zu einer Integration eines Datenbankmanagementsystems sowie leistungsstarken Bearbeitungs- und Visualisierungsumgebungen ausdehnt. Die Forschung von Penninga and van Oosterom (2008) zielt auf die Entwicklung einer Datenstruktur, die sich auf die analytischen Fähigkeiten fokussiert und die Datenkonsistenz beibehält. Ihr Artikel führt einen neuen topologischen Ansatz ein, der auf tetrahedralen Netzwerken basiert. Dies bedeutet, dass diese Netzwerke aus dreidimensionalen Gebilden bestehen, welche aus vier dreieckigen Seiten gebildet werden. In der Idee sind diese vergleichbar mit dem Triangulated irregular Network, welches Oberflächen durch einzelne Dreiecke abbilden kann.

Dass die Topologie nicht simpel vom zweidimensionalen System in ein dreidimensionales überführt werden kann, beschäftigte u.a. Ellul and Haklay (2006). Sie beschreiben die Anforderungen an die Topologie in 3D und klassierten diese aufgrund ihrer Anwendung in drei umfassenden Kategorien. Um einen weiteren erwähnenswerten Ansatz bemühte sich Yu et al. (2012). Sie beschreiben ein hybrides System, das den Mangel an Analysefunktionen aufzeigt, welche in 2D üblich sind, in 3D Visualisierungen aber nicht verfügbar sind. Aus diesem Grund entwickeln sie ein 2D-GIS, welches die Daten in 3D repräsentiert. Die Funktionen in 2D werden so in eine 3D-Umgebung eingebunden. Digitale 3D Terrainvisualisierungen von GIS-Daten sind in der Stadplanung, wie in anderen Bereichen, sehr gefragt (Ruzinoor et al., 2012). Der Stadt Zürich gelingt es ein flächendeckendes 3D-Modell der Stadt bereitzustellen. Wobei die Schwierigkeit der Verarbeitung riesiger Datenmengen mit 3 Levels of Details gelöst wird (Stadt Zürich).

Arbeiten in 3D sind somit in der Welt von geographischen, wie nicht-geographischen Studien bereits etabliert. Die Systeme werden je nach Verwendungszweck schon routinemässig eingesetzt. In Gebieten, wie der ökologischen Modellierung, wird aber der 3D-Effekt meist vernachlässigt oder vergessen.

2.2 Multikriterienanalyse

Nach Malczewski (1999) sind Multikriterienanalysen als eine Reihe von Arbeitsschritten zu sehen, um komplexe Fragestellungen zu analysieren. Diese basieren auf Literatur sowie Expertenwissen und können sowohl mit als auch ohne räumlichen Bezug durchgeführt werden (Ryffel, 2008). Geographische Informationssysteme können für die Bearbeitung solcher räumlicher Analysen verwendet, welche für Entscheidungen unterstützend sind. Häufig gebraucht werden solche Analysen in der ökologischen Modellierung. Ryffel (2008) und Santos et al. (2006) beschreiben GIS als robustes Werkzeug solche Modellierungen zu ermöglichen. Beiden Artikeln gemeinsam ist, dass sie GIS zur Verwendung von Habitatsfindungen benötigen. Bei Ryffel (2008) geht es um Bartgeier, während sich Santos et al. (2006) mit Schlangen beschäftigt. Weiter Beispiele wie Store and Jokimäki (2003) und Dettmers and Bart (1999) zeigen die häufig gebrauchten und weiten Einsatzmöglichkeiten der Modellierung von Habitaten mit GIS.

2.3 Räumliche Analysen auf Oberflächen

Im folgenden Unterkapitel soll das Fundament für räumliche Analysen auf Oberflächen gebildet werden. Da im methodischen Hauptteil dieser Arbeit die Puffergenerierung auf Oberflächen im Zentrum steht, wird dieser Aspekt hier auch aufgegriffen. Der Puffer gilt als typisches Beispiel einer Distanzfunktion, welche intuitiv sensitiv auf den Geländecharakter reagiert. Eines der Dinge, die heute oft in geographischen Informationssystemen genutzt werden, ist das Messen von planaren Distanzen zu jeder Position auf einer Karte (Tomlin, 2010).

GIS wird oft im Umweltschutz und für planerische Zwecke benutzt, da es ein kraftvolles Instrument und leicht zu handhaben ist, sowie eine präzise und wiederholbare Datenanalyse ermöglicht. Die Puffergenerierung ist dabei ein häufig genutzter räumlicher Analyseprozess mit GIS-Daten (Chrisman, 1997). Puffer werden als Fläche definiert, von wo die kürzeste Distanz zum Feature immer weniger oder gleich der Pufferdistanz ist. Tatsächlich bestimmen Puffer die Nachbarschaftsregion um Objekte (Li et al., 2005). Landeigentümer und Eigentumsrechtsaktivisten wünschen sich genaue Puffer auf Oberflächen um unangemessene Rückschritte oder Entwicklungsbeschränkungen zu verhindern (Barnes, 2002; Philips, 1989). Die Genauigkeit dieser ist nicht immer einfach und auch nicht immer vorhanden. Puffer im Gebirge zu skizzieren ist zum Beispiel sehr problematisch. Eine typische Vektorfunktion in einem GIS, das anstatt auf der Oberflächendistanz auf der euklidischen Distanz basiert, resultiert in einer ungenauen Repräsentation des Puffers (Li et al., 2005). Ein 50 Meter Puffer, wie in Abbildung 2.1(a), hat dieselbe Distanz, auch wenn er auf die schiefe Ebene übertragen wird. Auf der anderen Seite, wird die Pufferdistanz in Abbildung 2.1(b) um über 15 Prozent zunehmen. Die neue Pufferdistanz in 3D (d.h. auf der Oberfläche) entspricht 57.7 Meter, welche durch den Quotienten von 50 Metern über dem Cosinus von 30 Grad errechnet werden (Li et al., 2005). Dieses Beispiel soll zeigen, dass ein 2D-Puffer falsche Resultate liefern kann, wenn er als Oberflächenpuffer verwendet wird. Li et al. (2005) hält fest, dass ein Puffer, der auf der euklidischen Distanz basiert, akzeptabel ist, wenn es sich um flaches Terrain handelt oder die zu puffernden Features parallel zur Falllinie verlaufen. Über steiles und komplexes Terrain können Puffer, die auf der euklidischen Distanz beruhen, keine entsprechenden Resultate liefern. Sie werden immer grösser sein als der wirkliche Puffer (Li et al., 2005).

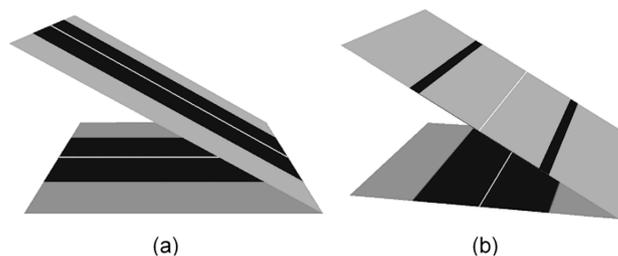


Abbildung 2.1: Linienpuffer in 2D und deren Projektion auf eine schiefe Ebene, nach Li et al. (2005)

Bei den meisten GIS-Paketen wird die Nachbarschaftslage immer noch mit der euklidischen Distanz berechnet (Li et al., 2005). Vor allem der Vektorfall lässt kaum anderen Spielraum zu. Zudem bieten die gebräuchlichsten Pakete auch Funktionen zur Berechnung im nicht-euklidischen Raum an. Diese werden abhängig vom Paket häufig als *cost distance* oder *weighted distance* beschrieben. Was Li et al. (2005) vorschlägt ist der Gebrauch des Kostenentfernungsalgorithmus mit der Ergänzung eines Reibungslayers, welcher die Kosten per Distanzeinheit vorgibt. Seine vorgeschlagene Methode übernimmt dasselbe Netzwerkschema wie die Kostenentfernungsfunktion,

enthält allerdings ihre eigene richtungsabhängige Formel. Diese betrachtet die topographische Oberfläche als ein Netzwerk und berechnet die Verbindungskosten (z.B. Oberflächendistanz) abhängig von der Bewegungsrichtung. Li et al. (2005) erzielte damit leicht bessere Resultate als mit dem Kostenentfernungsalgorithmus.

Zusammenfassend soll hier festgehalten werden, dass die akkurate Puffergenerierung auf Oberflächen eine unerlässliche GIS-Funktion darstellt, die in Umweltanalysen in hügeligen Gebieten gebraucht wird, um sachkundige und wertvolle Entscheidungen zu treffen. Nach Li et al. (2005) ist weder eine 2D-Distanz noch der Einsatz einer Cost-Distance-Funktion mit einer Neigungsfriktion eine brauchbare Lösung.

2.4 Sensitivität von GIS-Funktionalitäten

In diesem Unterkapitel wird aufgezeigt, welche Funktionen sensitiv auf den Einbezug des Geländecharakters reagieren würden, wenn dies bereits möglich wäre. Es gibt Auskunft darüber, welche Funktionen angepasst werden müssten, damit sie den Geländecharakter miteinbeziehen, bzw. welche ihn bereits miteinbeziehen. Im Hinblick auf den Hauptteil ist dies eine sehr wichtige Erkenntnis, die weitere Entscheidungen beeinflussen wird.

2.4.1 Elemente einer räumlichen Analyse

Es gibt viele Arten die analytischen Funktionen eines GIS zu klassifizieren. Die Klassifikation, die hier gebraucht wird, ist diejenige von Aronoff (1989). Er machte damals folgende Unterteilungen:

1. **Klassifikation, Abschätzungs- und Messfunktionen**

Diese Funktionen beschreiben Anwendungen auf eine einzelne Datenebenen, die oft die zugehörigen Attribute nutzen.

2. **Überlagerungsfunktionen**

Überlagerungsfunktionen sind die am häufigsten genutzten Funktionen in GIS-Anwendungen. Sie erlauben die Kombination von zwei oder mehreren Datenebenen, vergleichen Position um Position und befassen sich mit den überlappenden (und nicht-überlappenden) Gebieten.

3. **Nachbarschaftsfunktionen**

Während Überlagerungen Features am selben Ort kombinieren, beurteilen Nachbarschaftsfunktionen die Charakteristika eines Gebietes, welches ein Feature umgibt. Eine Nachbarschaftsfunktion untersucht die Nachbarschaft eines gegebenen Objekts und führt eine Berechnung damit aus.

4. **Verbindungsfunktionen**

Diese Funktionen arbeiten auf der Basis von Netzwerken, welche räumliche Verbindungen zwischen den Features repräsentieren. Dies können Strassennetze, Wasserläufe in Küstenzonen oder Kommunikationsverbindungen von Mobiltelefonen sein.

2.4.2 Geländesensitive Funktionen in ArcGIS

Geländesensitiv sind v.a. Funktionen, welche mit Distanzen oder Flächen rechnen. Im Folgenden wurde eine Tabelle zusammengestellt, die Funktionen oder Funktionsbündel aus der Umgebung von ArcGIS auflistet, welche bereits den Geländecharakter miteinbeziehen und welche sensitiv reagieren würden. Zur Übersicht wurden die Nicht-Sensitiven ausgelassen. Die Gliederung aus dem vorherigen Kapitel wurde

dabei beibehalten.

Die Tabelle 2.1 zeigt klar auf, dass es bereits einige Funktionen gibt, die den Geländecharakter miteinbeziehen. Dies sind vorwiegend die häufig verwendeten topographischen Funktionen. Sie arbeiten immer mit einem Höhenmodell und sind von der Natur ihrer Funktionalität aus sensitiv auf das Gelände. Ihr Ziel ist es das Gelände zu beschreiben, sei dies durch die Neigung, die Exposition oder durch Höhenlinien. All ihre Information erhalten sie über ein Höhenmodell. Die Tabelle zeigt aber auch, dass es sehr viele Funktionen gibt, die sensitiv reagieren würden, aber noch in der Projektion gefangen sind. Viele davon messen mit Distanzen, was laut Tomlin (2010) eine der heute meist genutzten Tätigkeiten in einem GIS ist. Die Zusammenstellung soll keinen Anspruch auf Vollständigkeit vorweisen, sondern einen Eindruck vermitteln, dass viele klassische GIS-Funktionen sensitiv auf den Geländecharakter reagieren oder reagieren würden. Die Firma ESRI hat allerdings bereits darauf reagiert und ein neues Toolset in der ArcGIS-Umgebung eingebaut. Der 3D-Analyst verfügt über einfache Funktionen für die 3D-Betrachtung von Daten.

Gliederung nach Aronoff (1989)	Funktion	A	B
Klassifikation, Abschätzungs- und Messfunktionen	Calculate Areas		X
Überlagerungsfunktionen	Spatial Join		X
Nachbarschaftsfunktionen	Distanzfunktionen (Buffer, Point Distance, Euclidean Distance, Cost Distance)		X
	Interpolationen (IDW, Kriging)		X
	Topographische Funktionen (Aspect, Contour, Slope, Curvature, Hillshade)	X	
	Dichtefunktionen (Kernel, Line)		X
Verbindungsfunktionen	Netzwerkfunktionen	X	(X)
	Sichtbarkeitsfunktionen (Viewshed)	X	

Tabelle 2.1: Geländesensitive Funktionen in ArcGIS (A: bezieht bereits ein Höhenmodell mit ein; B: würde sensitiv auf den Geländecharakter reagieren)

2.5 Forschungslücken und Forschungsfragen

Wie die Literatur zeigt, legen bisherige Anstrengungen in dreidimensionalen geographischen Informationssystemen den Fokus auf Teilgebieten der Datenpräsentation und der Datenstruktur. Akutelle Systeme sind extrem stark in der zweidimensionalen Umgebung, da sie seit Jahren damit entwickelt wurden. Die Datenstruktur verhindert aber weitgehend zusätzliche Schritte in 3D. Ansätze mit der dritten Dimension in Datenanalysen zu rechnen, wurden zwar festgehalten, diese arbeiten aber zu einem grossen Teil in der 2D-Projektion und stellen lediglich die Resultate auf einer 3D-Fläche dar. Wahre 3D-GIS sind auf dem aktuellen Markt bedingt durch diverse Hindernisse, wie Datenstrukturierung und Datenmanipulation von verschiedenen Objekttypen, 3D-Topologie und Datenanalyse, nicht verfügbar (Yu et al., 2012). Der Abschnitt 2.3 gibt jedoch eine Idee davon, dass es möglich ist, Untersu-

chungen auf Oberflächen durchzuführen. Dies wird aber im GIS-Alltag sehr wenig angewendet, da es im Gegenzug zu Anwendungen erprobter Funktionen keineswegs trivial ist. Die Sensitivitätsabschätzung widerspiegelt, dass viele Funktionen nicht fähig sind, Oberflächen miteinzubeziehen, sie aber sehr sensitiv auf den Geländecharakter reagieren würden. Häufig führt dieser Missstand zu falschen Ergebnissen führen und endet damit in einer ungenaueren Repräsentation unserer Umwelt. Diese Lücken ermöglichen die folgenden Fragen für diese Arbeit zu formulieren.

1. Wie können die Geländeeigenschaften in räumlichen Operationen eingebracht werden, welche bisher in 2D durchgeführt wurden?
2. Welchen Einfluss hat der Einbezug der Geländeeigenschaften auf 2D-Untersuchungen in steilem Gelände, wie dem Schweizerischen Nationalpark?

Kapitel 3

Vorstudie im Schweizerischen Nationalpark

In einem ersten praktischen Teil dieser Arbeit wurde eine Vorstudie durchgeführt. Diese hat zum Zweck, den Einfluss des Geländecharakters bei räumlichen Analysen ein erstes Mal quantitativ abzuschätzen. Dafür wurden Daten vom SNP zur Verfügung gestellt und verwendet.

3.1 Untersuchungsgebiet

Aufgrund eines starken Interesses und der Datenlage, beschränkt sich das Untersuchungsgebiet für die Vorstudie auf das Ausmass des Schweizerischen Nationalparks. Dieser befindet sich in den östlichen Zentralalpen, genauer im Kanton Graubünden, und bildet einen Teil des Engadins. Der Park ist ein Wildnisgebiet, das sich auf einer Fläche von 170.3 km² erstreckt. Mit Höhenlagen von 1'400 m ü.M. bis 3'174 m ü.M. beschreibt er ein topographisch sehr interessantes Gebiet (Schweizer Nationalpark). Gerade in steilem und unwegsamem Gelände könnte der Geländecharakter eine entscheidende Rolle in der ökologischen Forschung spielen, zumal dieser auch ein zentrales Merkmal des Nationalparks ist.

Geographische Informationssysteme bilden häufig Grundlagen für Untersuchungen, die den Raum betreffen. So bildet auch GIS einen Bereich in der Verwaltung des Nationalparks. Das GIS des Nationalparks entstand 1992 aus einer Initiative der Forschungskommission und des Geographischen Instituts der Universität Zürich. Heute kümmern sich vier Personen permanent um die Belange der Geoinformation im SNP. Daher ist die Bedeutung des Geländecharakters und die Abschätzung dessen Einflusses von überaus hohem Interesse um Studien noch präziser durchzuführen.

3.2 Methodik

Durch Berechnungen der Fläche und des Umfangs des Schweizerischen Nationalparks auf der Basis von digitalen Höhenmodellen soll eine erste Abschätzung über den Einfluss des Geländecharakters ermöglicht werden. Als Grundlage dafür gelten die Höhenmodelle und Grenzlinien des SNP. Um den Einfluss genauer zu verstehen, werden Höhenmodelle mit verschiedenen Auflösungen verwendet. Die Berechnungen der gesuchten Werte werden durch ArcGIS-Funktionalitäten unterstützt, die im Weiteren genauer beschrieben werden.

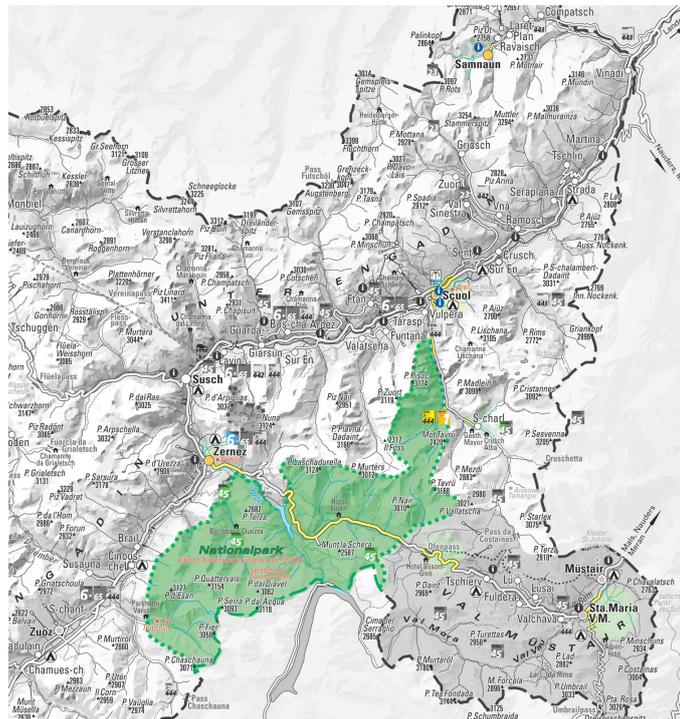


Abbildung 3.1: Ausdehnung des SNP, Quelle: www.engadin.ch

3.2.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage dienen verschiedene Höhenmodelle des SNP, sprich das Digitale Höhenmodell DHM25 von Swisstopo sowie das hochauflösende DTM4 des Nationalparks, siehe Tabelle 3.1. Weiter wurden daraus durch die Resampling-Methode weitere Höhenmodelle mit gröberen Auflösungen abgeleitet. Da es sich beim DHM25 um ein abgeleitetes Höhenmodell und beim DTM4 um eine Direktmessung durch Laserscan handelt, sollen nur Vergleiche im selben Resamplingprozess gemacht werden. Das DHM25 ist durch Interpolation der vektorisierten Höhenkurven der Landeskarte 1:25'000 erstellt worden und basiert auf dem Höhennetz LN02 (Swisstopo, 2014). Das DTM4 basiert auf der Luftbildkampagne aus dem Jahr 2000 und wurde mit den Höhen aus dem Landeshöhennetz LHN95 angepasst (Swiss Parks Network, 2014). Eine völlig andere Datenstruktur um Oberflächen darzustellen bietet ein Triangulated irregular Network, kurz TIN. Um zu sehen, ob auch die Datenstruktur Einfluss auf Berechnungen von Flächen und Strecken hat, werden aus den verschiedenen aufgelösten Höhenmodellen TINs errechnet. Damit bieten die TINs des SNP eine weitere abgeleitete Grundlage, die allerdings zur Untersuchung der Vorstudie ihren Nutzen beiträgt.

3.2.2 Berechnung in ArcGIS

Mit Werkzeugen des *3D Analysts* von ArcGIS lassen sich dreidimensionale Flächen und Strecken berechnen. Unter dem Setting *Functional Surface* befinden sich die Werkzeuge *Surface Volume* und *Add Surface Information*, die beide für die Berechnungen in diesem, wie auch in weiteren Kapiteln genutzt wurden.

Tabelle 3.1: Übersicht der Datengrundlage, Quellen: Swisstopo, SNP

Datensatz	Datenstruktur	Herkunft	Auflösung
Shape	Vektor	SNP	-
DHM25	Raster	Swisstopo	25 Meter
DTM4	Raster	SNP	4 Meter
TIN	TIN	SNP	-

Fläche - Surface Volume

Die Funktion *Surface Volume* berechnet die Oberfläche und das Volumen eines Körpers sowie deren projizierte Fläche. Die Daten können dabei in Form eines Rasters oder TINs vorliegen. Handelt es sich bei der Eingabe-Oberfläche um ein TIN, wird jedes Dreieck untersucht, um seinen Anteil an Fläche und Volumen zu bestimmen. Die Summe dieser Anteile ergibt die Fläche, bzw. das Volumen. Handelt es sich bei der Eingabe um ein Raster, werden die Zellmittelpunkte zu Dreiecken verbunden und schliesslich wie TIN-Dreiecke verarbeitet. Da diese Berechnung nicht auf der Ausdehnung der Zellen, sondern auf der Ausdehnung der gleichmässig angeordneten Punkte des Rasters basiert, ist der Datenbereich um eine halbe Zelle kleiner als der im Bild angezeigte Bereich. (ArcGIS Help, 2014)

Umfang - Add Surface Information

Add Surface Information fügt Features räumliche Information bei, die von einer Oberfläche abgeleitet wurden. Konkret werden Z-Werte generiert. Bei Punktobjekten werden diese von der XY-Position auf der Oberfläche abgeleitet. Linien rufen die Z-Eigenschaften ab, indem sie Messwerte der Oberfläche entlang interpolieren. Polygone fassen die Z-Eigenschaften der Oberfläche in ihrer Fläche zusammen. Im Fall der Linienberechnung wird die 3D-Distanz jedes Abschnittes gespeichert. Mit der Summe dieser Abschnitte wird der komplette Umfang errechnet. (ArcGIS Help, 2014)

3.3 Resultate

Die Resultate der Flächen- und Umfangberechnung über die Oberfläche wurden jeweils in den Abbildungen 3.2 und 3.5 geplottet und in Tabellen numerisch festgehalten. Sie werden folgend in zwei Unterkapiteln vorgestellt. Verglichen wurden dabei geläufige Auflösungen und Typen von Höhenmodellen.

3.3.1 Fläche

Die Abbildung 3.2 zeigt einen nahezu symmetrischen Verlauf der Kurven - eine fast lineare Abnahme. Alle drei Höhenmodelle zeigen ein ähnliches Verhalten bei Flächenberechnungen über die Oberfläche. Das TIN-Modell weist jedoch immer leicht höhere Werte auf als die beiden Rastermodelle. Die Werte der drei Höhenmodelle bleiben aber sehr konstant beieinander.

In den Tabellen 3.2 und 3.3 sind die absoluten bzw. relativen Werte aufgelistet. Die relativen Werte beziehen sich auf die Projektionsfläche des SNPs. Diese beträgt laut Berechnung in ArcGIS 170.33 km². Die Tendenz ist auch hier sichtbar. Je höher die Zellgrösse desto kleiner wird die Fläche. Ab einer Auflösung von 25 Metern beträgt

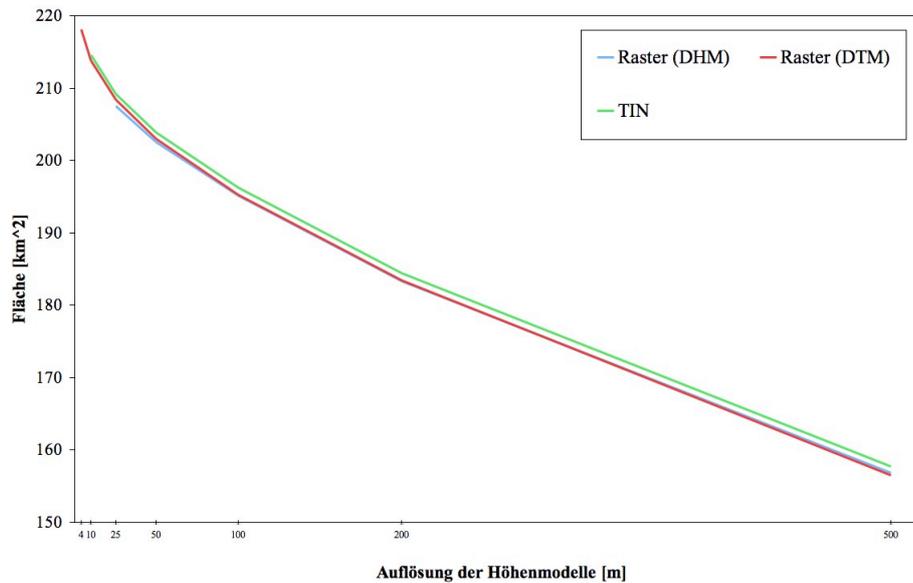


Abbildung 3.2: Fläche des SNP

[km ²]	4 Meter	10 Meter	25 Meter	50 Meter	100 Meter	200 Meter	500 Meter
DHM	-	-	207.5	202.5	195.2	183.3	156.9
DTM	218.1	213.8	208.4	203.0	195.3	183.4	156.6
TIN	-	214.6	209.2	203.9	196.2	184.5	157.8

Tabelle 3.2: Resultate der Flächenberechnung im SNP in verschiedenen Auflösungen mit unterschiedlichen Höhenmodellen

die relative Änderung bereits über 20 Prozent gegenüber der Projektion. Bei Rasterweiten von 500 Metern sinkt die Flächengröße unter die der Projektion.

Im Teil von kleinen Zellgrößen fällt auf, dass das Raster DHM und das TIN keine Werte mehr besitzen. Dies hat zum Einen den Grund, dass das DHM mit einer Auflösung von 25 Metern erstellt wurde und somit bei dieser Rastergröße begrenzt ist. Zum Anderen war die Erstellung eines TINs aus einem 4-Meter-Höhenmodell nicht sinnvoll möglich (Abbildung 3.3.1, da die Parameter (Z-Toleranz, Nummer von Verbindungspunkten) zu stark geändert werden müssten. Eine Z-Toleranz, wie in Abbildung 3.3.1 skizziert, von einem Meter war demnach nicht genug um das Problem zu lösen. Wenn eine kleine Toleranz verwendet worden wäre, wäre der Wert nicht mehr vergleichbar gewesen und somit fiel der Wert für ein 4-Meter-TIN raus.

[%]	4 Meter	10 Meter	25 Meter	50 Meter	100 Meter	200 Meter	500 Meter
DHM	-	-	21.8	18.9	14.6	7.6	-7.9
DTM	28.1	25.5	22.4	19.2	14.7	7.7	-8.1
TIN	-	26.0	22.8	19.7	15.2	8.3	-7.4

Tabelle 3.3: Relative Flächenänderung gegenüber der Projektionsfläche in 2D

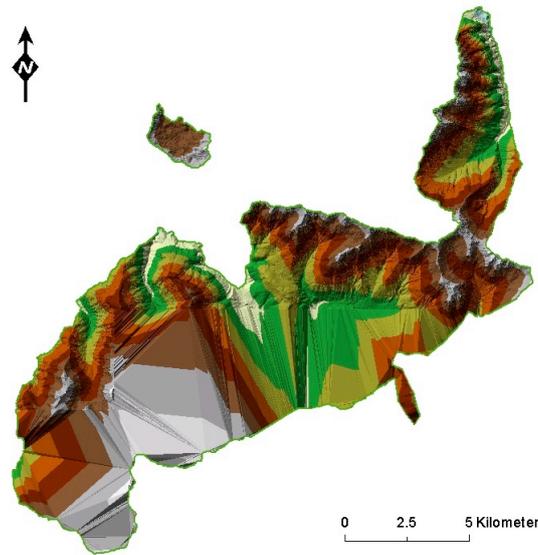


Abbildung 3.3: Unbrauchbare TIN-Repräsentation aus dem DTM4 mit Z-Toleranz = 1

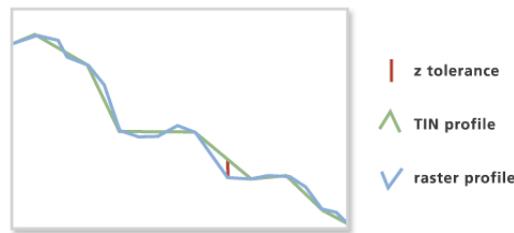


Abbildung 3.4: Skizze der Z-Toleranz für die Erstellung eines TIN, Quelle: ArcGIS Help (2014)

3.3.2 Umfang

Der Umfang wurde wie in 3.2.2 beschrieben für Rasterauflösungen von 4 bis 500 Metern und für ein TIN berechnet. Was auf den ersten Blick bei Abbildung 3.5 auffällt, ist ein stetiger Anstieg des Umfangs mit tieferer Auflösung. Dies bedeutet, je genauer der Umfang repräsentiert wird, desto länger ist er. Die drei Kurven zeigen eine annähernd gleiche Entwicklung über die gesamte Länge - eine fast lineare Abnahme hin zu größeren Auflösungen. Die DTM-Reihe hat permanente höhere Werte, wobei die Werte im DHM stärker absinken. Betrachtet man die Steigungen der Regressionsgeraden sieht man, dass die Kurven eine beinahe Horizontale beschreiben. Die Steigungen sind alle im Kommabereich sehr leicht negativ. Die Werte bleiben beim Umfang also praktisch konstant für Auflösungen von 25 bis 500 Metern. Bei der DTM-Reihe scheint sich aber ein anderer Trend fortzusetzen. Bei Auflösungen von 4 und 10 Metern steigt die Kurve rasant ab und flacht bei 25 Metern markant ab. Wie Tabelle 3.5 zeigt, steigt der Umfang im digitalen Höhenmodelle mit vier Metern Auflösung gegenüber der Projektion um beinahe 10 Prozent an. Bei einer Auflösung von 25 Metern ist immernoch eine leichte Änderung von ca. 7 Prozent bei allen drei Höhenmodellen vorhanden. bei groben Auflösungen, wie 500 Meter, sind die kaum mehr Umfangsänderungen definierbar.

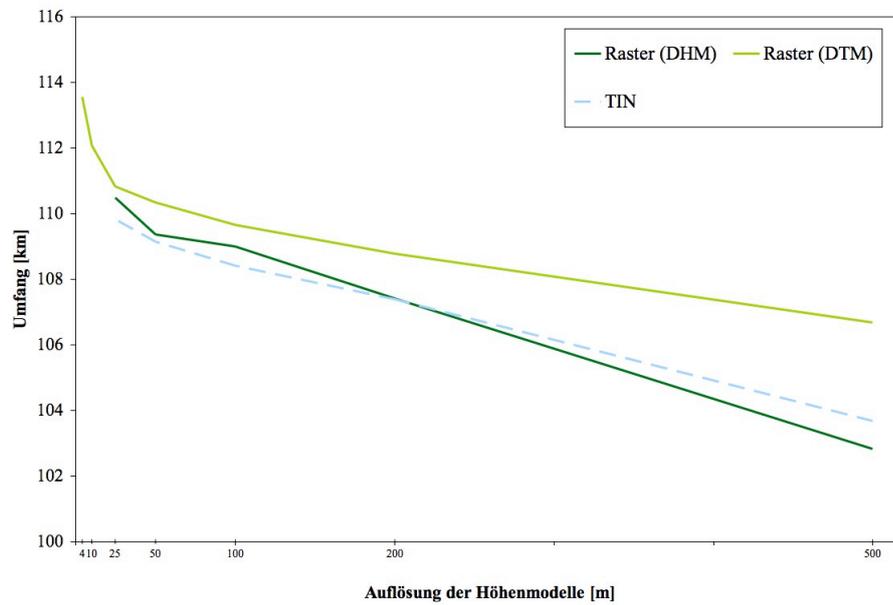


Abbildung 3.5: Umfang des SNP

[km]	4 Meter	10 Meter	25 Meter	50 Meter	100 Meter	200 Meter	500 Meter
DHM	-	-	110.5	109.4	109.0	107.4	102.8
DTM	113.6	112.1	110.8	110.3	109.7	108.8	106.7
TIN	-	-	109.8	109.2	108.4	107.4	103.7

Tabelle 3.4: Resultate der Umfangberechnung im SNP in verschiedenen Auflösungen und mit unterschiedlichen Höhenmodellen

[%]	4 Meter	10 Meter	25 Meter	50 Meter	100 Meter	200 Meter	500 Meter
DHM	-	-	6.9	5.8	5.5	4.0	-0.5
DTM	9.9	8.5	7.3	6.8	6.1	5.3	3.3
TIN	-	-	6.3	5.6	4.9	3.9	0.3

Tabelle 3.5: Relative Flächenänderung gegenüber der Projektionsfläche in 2D

3.4 Diskussion

Im folgenden Abschnitt sollen die Resultate der Vorstudie kurz diskutiert werden und daraus ein kleines Fazit gezogen werden. Die Diskussion soll sich nicht nur auf die Fläche und den Umfang des Nationalparks beziehen, sondern soll allgemein für Flächen und Linien gelten, die auf Oberflächen berechnet werden.

Flächen

Der Anstieg bei der Fläche von über 20 Prozent ist enorm. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Schweizerische Nationalpark über eine sehr ausgeprägte Topographie verfügt. Das hügelige Gebiet scheint äusserst sensitiv auf Flächenberechnungen zu reagieren. Bei Flächenberechnungen scheint die Datenstruktur keinen erheblichen Einfluss zu haben. Was man aber vermuten kann, ist, dass einem genaueren Höhenmodell, wie dem DTM des Nationalparks, mehr Vertrauen bei der Genauigkeit geschenkt werden kann, als einem abgeleiteten Höhenmodell, wie dem DHM25 von swisstopo. Die Auflösung hingegen scheint einen erheblichen Einfluss zu haben. Die Fläche ist bei geläufigen Auflösungen, wie 4 und 25 Metern, über 20 Prozent grösser gegenüber der Projektion, wobei gröbere Auflösungen sich immer mehr an eine 2D-Lösung annähern und schliesslich sogar darunter zu liegen kommen. Was aber intuitiv nicht möglich wäre. Die kleinst mögliche Fläche wäre die Projektion. Im Fall einer 500 Meter Auflösung liegt der Grund jedoch in der Maschenweite. Mithilfe dieser ist es nicht möglich den SNP sauber abzudecken und somit entstehen mehr oder weniger grosse Lücken bei der Rasterrepräsentation.

Linien

Der Umfang des SNP steigert sich um maximal fast 10 Prozent gegenüber der Projektion. Der Trend zu einem fast linearen Anstieg scheint sich auch hier durchzusetzen. Der Umfang ändert sich jedoch nur sehr gering mit zunehmender Auflösung. Mit groben Auflösungen scheint er sich also kaum zu verkleinern. Dies bedeutet, dass die Auflösung bis zu einer Weite von 25 Metern kaum einen Einfluss auf die Umfangberechnung hat. Rasterweiten von 4 und 10 Metern zeigen aber einen anderen Trend auf. Bei ihnen steigt die Kurve rasant ab und erst danach folgt die beinahe horizontale Korrelation. Somit scheinen sie einen deutlich höheren Einfluss zu haben. Dies kommt daher, da sich bei sehr feinen Auflösungen vermehrt kleine Features im Gelände abzeichnen, die bei groben Auflösungen nicht annähernd sichtbar sind. Dies könnten zum Beispiel kleinmasstäbliche hügelige Gebiete sein, die ein stetiges Auf und Ab kleiner als 25 Meter beschreiben. Bei der Betrachtung dieser Entwicklung ist Vorsicht geboten. Feinere Auflösungen sind hier nur in Form des direkt gemessenen DTM-Höhenmodells geboten. Das DHM von SwissTopo ist bei einer Auflösung von 25 Metern begrenzt - die TIN-Ableitung ebenfalls. Die Erstellung eines TINs mit prozessierbaren Feinheiten liefert nur bis 25 Metern brauchbare Oberflächen für die Berechnung des Umfangs des Schweizerische Nationalparks.

Vergleich

Ein Vergleich von Linien- und Flächenberechnungen auf Oberflächen im Schweizerische Nationalpark zeigt also vorerst einen ähnlichen Trend. Nach Abbildung 3.6 werden Flächen etwas stärker beeinflusst als Linien. Die Abnahme der Werte mit zunehmender Maschenweite beim Höhenmodell ist bei Flächenberechnungen höher als bei Linien. Bei Linienobjekten ist kein starker Trend erkennbar. Ausser bei sehr feinen Auflösungen verläuft die Abnahme überall beinahe parallel zur X-Achse.

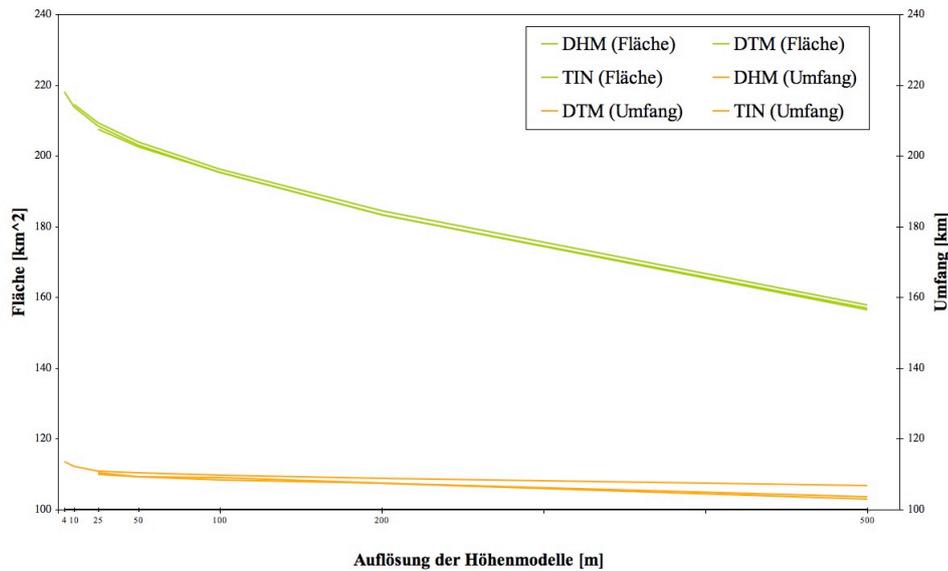


Abbildung 3.6: Vergleich der Fläche und des Umfangs des SNP

Dies bedeutet, dass Berechnungen von Flächen auf Oberflächen sensitiver auf Änderungen der Auflösung des verwendeten Höhenmodells reagieren als diejenigen von Linien.

3.5 Fazit

Da der Schweizerische Nationalpark ein sehr hügeliges Terrain beschreibt, ist er, wie zu erwarten war, sehr sensitiv auf Berechnungen auf der Oberfläche. Die Erwartungen in flacherem gemäßigteren Gebiet würden doch sehr viel darunter liegen. Die Werte, seien es TIN oder Raster, bleiben stetig beisammen und zeigen einen bei Linien, wie bei Flächen klaren Trend auf. Auch wenn die Auflösung bei Flächen doch einen deutlich stärkeren Einfluss hat, sind die Werte bei Linienberechnungen auf der Oberfläche doch wesentlich höher als bei Berechnungen auf der Projektion. Flächen zeigen dabei einen Anstieg der Werte von über 20 Prozent, wobei Linien eine Änderung von maximal 10 Prozent erfahren. Als Fazit darf hier festgehalten werden, dass Berechnungen auf Oberflächen im Gebiet des SNP doch einen markanten Einfluss auf das Ergebnis haben. Wie hoch die Auswirkungen jedoch auf eine konkrete Studie sind und nicht auf simple Flächen- und Längenberechnungen wird sich in den nächsten Kapiteln zeigen.

Kapitel 4

Methodischer Ansatz

Dieses kurze Kapitel soll zur Übersichtlichkeit den methodischen Grundgedanken für die weitere Arbeit beschreiben. Die 5 Schritte reichen von der Auswahl einer geeigneten Studie, bis zum Testen der Sensitivität. Die Idee der Arbeit ist den Einfluss des Geländecharakters anhand einer bekannten Studie zu testen.

1. Auswahl einer Eignungsanalyse (Multikriterienanalyse)

Die Auswahl einer Multikriterienanalyse steht am Beginn der Methodik und ist sehr wegweisend. Wir wählen eine Analyse aus von der wir denken, dass das Gelände einen Einfluss haben wird. In Kapitel 5 wird die ausgewählte Studie vorgestellt. Insbesondere ihre Kriterien haben für diese Arbeit ein wichtiges Augenmerk verdient.

2. Aufbau der Studie

Zu Vergleichszwecken muss die Studie vorerst rekonstruiert werden. Das gesamte Datenmaterial muss beschafft und nach Vorgaben der Studie verarbeitet werden. Es wird sich zeigen, dass dies oftmals Schwierigkeiten mit sich bringt. Sehr oft hilft dabei auch der Kontakt zur Person oder den Personen, die die Studie verfasst haben.

3. Alternativlösung

Im nächsten Schritt wird die Überlegung gemacht, wie geländeberücksichtigende Funktionen in die Eignungsanalyse eingebaut werden können, womit die alten Funktionen präzisiert werden. Eine alternative Lösung für dasselbe Problem soll gefunden werden. Was ist nötig um dies durchzuführen? Grundsatzentscheide über die Lösungen werden hier gefällt. Es ist zu bedenken, ob die Bewältigung in einer bekannten GIS-Umgebung geschieht oder ob selbst eine Funktion, z.B. mittels JAVA, gefunden werden soll. Die Grenzen zu kennen bleibt bei vorhandenen, wie bei selbst entwickelten Funktionen ungemein essentiell. Wie weit komme ich mit dieser Lösung? Die Alternativlösung für diese Arbeit wird in Kapitel 6 vorgestellt.

4. Durchführung Eignungsanalyse unter Berücksichtigung des Geländes

Weiter soll die Eignungsanalyse mit der Alternativlösung durchgeführt werden. Alle Kriterien berücksichtigen das Gelände. Vorerst wird mit den vorhandenen Werten aus der Vorlage der Studie gearbeitet.

5. Testen der Sensitivität

Im letzten Schritt wird die Empfindlichkeit der Funktion geprüft, indem die Parameter variiert werden. Ein wichtiger Arbeitsabschnitt ist dabei die Überlegung was getestet werden soll. Die Experimente sollen Aufschluss über die

Sensitivität geben und dabei nicht zu knapp aber auch nicht zu exzessiv ausführen.

Kapitel 5

Fallstudie Eignungsanalyse: Der Knochenbrecher kehrt zurück

Wie der methodische Ansatz vorsieht soll der Einfluss vom Geländecharakter anhand einer bekannten Studie getestet werden. Dafür wurde in Zusammenarbeit mit dem SNP eine Eignungsanalyse ausgewählt. Die ausgewählte Studie heisst *Der Knochenbrecher kehrt zurück* und wurde von Andrea Ryffel im Jahre 2008 verfasst. Nicht unwesentlich für das Verständnis ist das Verständnis der Studie. Deshalb wird hier in Kürze das Wichtigste für die Arbeit mit Geländecharakter präsentiert.

5.1 Einleitung

In Zusammenarbeit mit Dr. Ruedi Haller vom SNP wurde eine Eignungsanalyse für die Zwecke dieser Arbeit ausgewählt. Die Ansprüche an eine solche Studie waren, dass sie Funktionen anwendet, die Gebrauch von Flächen oder Distanzen machen. Die Idee dahinter ist, dass der Geländecharakter möglichst einen Einfluss hat und nicht etwas ohne Einfluss untersucht wird. Die ausgewählte Studie von Ryffel (2008) bezieht zwar bereits einiges auf die Oberfläche, benutzt aber sehr häufig die Distanzfunktion der Pufferung. Diese erschien als geeignete Funktion, die den Einfluss des Geländecharakters deutlich widerspiegeln könnte. In ihrer Studie wendet sie nicht nur in einem Kriterium eine Pufferung an, sondern benutzt die Funktion bei der Hälfte der Kriterien. Puffer werden als wichtiges Instrument in der Analyse verwendet. Wie sich zeigen wird, sprechen Puffer sehr sensitiv auf den Geländecharakter an.

5.2 Motivation der Studie

1989 wurden erstmals wieder Bartgeier in der Schweiz angesiedelt (Robin et al., 2003). Hauptsächlich dank grosser Anstrengungen von Naturschützern konnten bereits im Winter 2007 erste Brutplätze der Bartgeier in der Schweiz beobachtet werden (Ryffel, 2008). Aus populationsdynamischer Sicht ist die Nachfolge gesichert, die genetische Variation aber sehr gering. Bei kleinen Populationen ist die Gefahr der Inzucht und Auszucht sehr gross (Robin et al., 2003). Deshalb wurden in den darauffolgenden Jahre immer wieder Jungvögel ausgesetzt. Bisher geschah dies vorwiegend im Engadin. Da der Konkurrenzdruck deutlich ansteigt, macht es Sinn alternative Freilassungsstandorte in geeigneten Habitaten zu suchen (Ryffel, 2008).

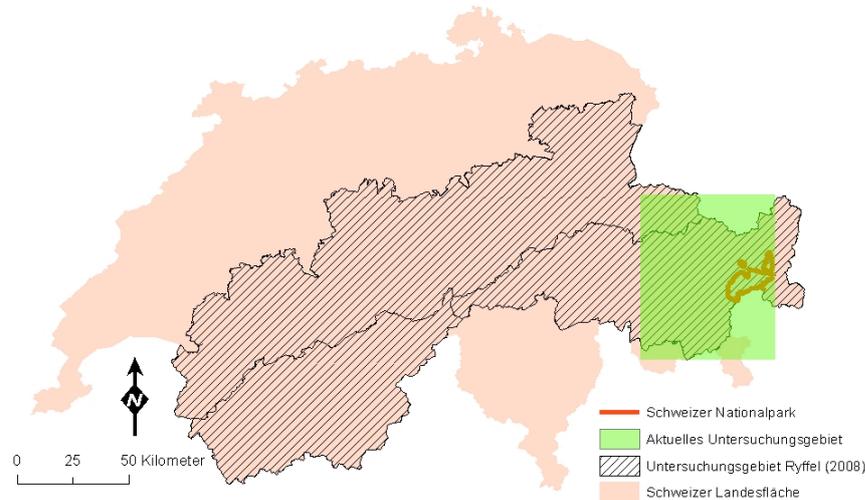


Abbildung 5.1: Übersicht über Untersuchungsgebiete

Für die Diplomarbeit von Ryffel (2008) war es deshalb ungemein wichtig zu wissen, wo Bartgeier früher gesiedelt haben, wo es heutige Lebensräume gibt und wie sich etwaige Veränderungen im Lebensraumpotenzial erklären lassen.

Eine flächendeckende Analyse der Habitataignung ist mit Hilfe einer GIS-Modellierung möglich (Ryffel, 2008). Es wurden bereits vor der Studie Anstrengungen in dieser Richtung unternommen, in der Schweiz (Haller, 1996; Haller and Allgöwer, 1996; Allgöwer and Haller, 1998), wie in den Pyrenäen (Donázar et al., 1993), im Kaukasus (Gavashelishvili and McGrady, 2006) und im Wallis (Hirzel et al., 2004). Mit der Arbeit von Ryffel (2008) wurde erstmals eine räumlich hochauflösende Analyse des Nistplatz- und Habitatpotenzials für Bartgeier im gesamten Schweizer Alpenraum vorgenommen.

5.3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet in der Studie von Ryffel (2008) bezieht sich auf den ganzen Schweizer Alpenraum, da Bartgeier Gebiete mit grossen Höhenunterschieden bevorzugen. Der Jura ist zu dicht besiedelt und zu touristisch genutzt, als dass sich Bartgeier dort niederlassen würden (Ryffel, 2008). Aus diesem Grund ergab sich für ihre Zwecke ein Gebiet von über 32'000 km². Aus experimentellen, rechentechnischen und interpretatorischen Gründen wurde für diese Arbeit das Untersuchungsgebiet stark eingegrenzt und auf eine Fläche von 4'560 km² begrenzt. Dies entspricht rund einem Achtel der vorherigen Untersuchungsfläche und etwa zwei Drittel der Fläche des Kantons Graubünden. Das neue Untersuchungsgebiet ist vollständig in dem von Ryffel (2008) enthalten und beinhaltet selbst den ganzen Schweizerischen Nationalpark. In Abbildung 5.1 ist das Gebiet dargestellt.

5.4 Datenlage

Die Daten, welche in der Studie von Ryffel (2008) verwendet wurden und im Bezug zu dieser Arbeit stehen werden hier kurz aufgelistet.

- **DHM25**
Das Rastermodell, das in der Arbeit von Ryffel (2008) verwendet wurde, ist ein aus der Landeskarte (1:25'000) von Swisstopo abgeleitetes Höhenmodell mit einer Auflösung von 25 Metern. Die Genauigkeit der Höhenwerte beträgt zwischen 1.5 und 3 Metern. (Swisstopo, 2014)
- **VECTOR25**
Das Vektorlandschaftsmodell der Schweiz ist ebenfalls aus der Landeskarte (1:25'000) abgeleitet. Die Lagegenauigkeit entspricht hier 3 bis 8 Meter. Neun thematische Ebenen bilden das Pendant zur topographischen Karte (DHM25). (Swisstopo, 2014)
- **SwissNames25**
In diesem Datensatz sind alle Beschriftungen der Landeskarte (1:25'000) von Swisstopo enthalten. Diese sind als Punkte georeferenziert und mit weiteren Attributen ergänzt. (Swisstopo, 2014)
- **AdS**
Als Gemeinschaftswerk des Institutes für Kartographie der ETH Zürich, des ETH-Rats, des Bundesamtes für Statistik und des Bundesamtes für Landestopographie präsentiert sich der Atlas der Schweiz (AdS). Die Karten liegen als Vektor- und Rasterdatensätze vor und enthalten viele thematische Informationen. (Atlas der Schweiz, 2014)

5.5 Methodik

In Abbildung 5.2 ist das Vorgehen bei der Eignungsanalyse von Ryffel (2008) abgebildet. Durch geeignete Literatur (Robin et al., 2003) konnten die Evaluationskriterien ausgewählt werden. Zusammen mit Bartgeierexperten wurden sie parametrisiert. Bei der Kriteriengewichtung wurden erneut Experten befragt, wodurch eine sehr glaubhafte Gewichtung ermöglicht wurde. In einem der letzten Schritte, die auch für diese Arbeit relevant sind, wurden die Resultate visualisiert. Die Modellierung von Freilassungsgebieten für Bartgeier stehen in Form einer Empfehlung für den Schluss der Studie.

5.6 Kriterien

Die Kriterien lassen sich aufgrund ihrer Verwendung in zwei Gruppen gliedern um das Nistplatzpotential zu bestimmen. Auf der einen Seite steht Potential für die Eignung und gibt Antwort darauf, welche Kriterien das Gebiet erfüllen muss um Bartgeier anzuziehen. Auf der Anderen steht das Potential für Störungen. Dies bezieht sich v.a. auf den anthropogenen Einfluss.

5.6.1 Nistplatzpotential

Das Nistplatzpotential ist schliesslich das Resultat aus dem Einbezug geeigneter Gebiete und dem Ausschluss störender Areale. Abbildung 5.3 zeigt die Hierarchie,

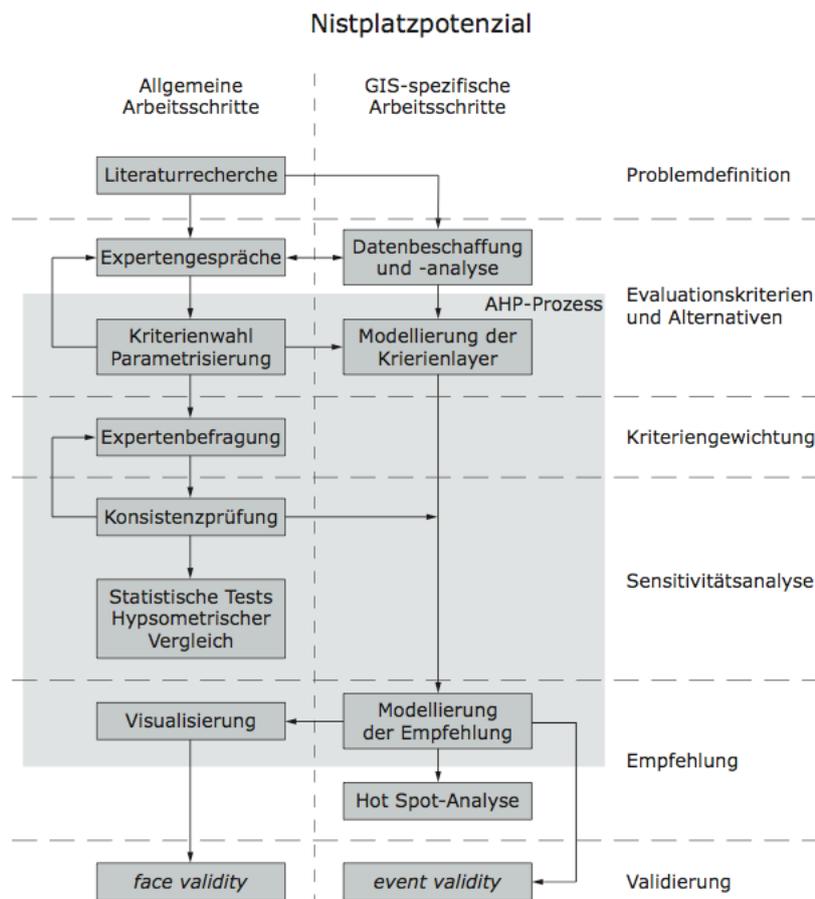


Abbildung 5.2: Vorgehen bei der Evaluation des Nistplatzpotentials, Quelle: Ryffel (2008)

sowie bereits die Gewichtung der Nistplatzkriterien. Im folgenden Kapitel werden die Kriterien nach Ryffel (2008) vorgestellt.

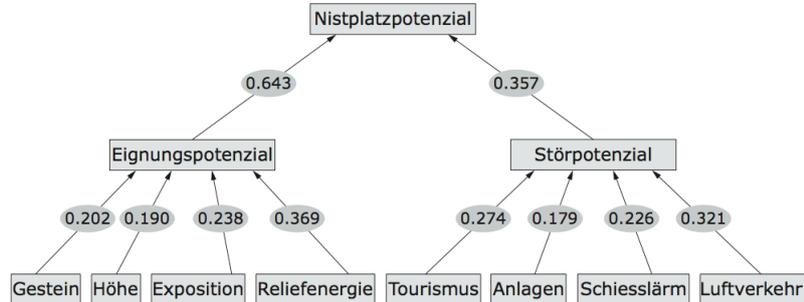


Abbildung 5.3: Hierarchie und Gewichtung der Kriterien, Quelle: Ryffel (2008)

5.6.2 Eignungspotential

Das Eignungspotential setzt sich aus den fünf Kriterien Felsklippen, Gestein, Höhe, Exposition und Reliefenergie zusammen.

Felsklippen

Kriterium	Felsklippen
Datengrundlage	VECTOR25 (Primärflächen: Fels) und DHM25 (Hangneigung)
Beschreibung	Felsklippen beschreiben die grundlegenden Bedingungen, welche potentielle Nistplätze erfüllen müssen. Geeignet sind dafür nur Felsgebiete mit mindestens 50 Grad Hangneigung.
Algorithmus	Maximum Downward Gradient (JAVA) nach Burrough and McDonnell (1998)

Tabelle 5.1: Beschreibung des Kriteriums Felsklippen

Gestein

Kriterium	Gestein
Datengrundlage	AdS Shapefile (Lithologie)
Beschreibung	Gestein beschreibt das Potential für Felsnischen, wie Lockergestein, Kalk und Silikat. Gewässer, Gletscher und Firn sind ausgeschlossen.
Algorithmus	Klassierung

Tabelle 5.2: Beschreibung des Kriteriums Gestein

Höhe

Kriterium	Höhe
Datengrundlage	DHM25, AdS Shapefile (biogeographische Grossregionen)
Beschreibung	Höhe beschreibt die klimatischen Bedingungen aufgrund der Höhenlage, unterteilt nach Nord- und Zentralalpen
Algorithmus	Klassierung

Tabelle 5.3: Beschreibung des Kriteriums Höhe

Exposition

Kriterium	Exposition
Datengrundlage	DHM25
Beschreibung	Exposition beschreibt die Südausrichtung, welche für die Thermikentwicklung im Nistplatzbereich eine wichtige Rolle spielt.
Algorithmus	Aspect (ArcGIS)

Tabelle 5.4: Beschreibung des Kriteriums Exposition

Reliefenergie

Kriterium	Reliefenergie
Datengrundlage	DHM25
Beschreibung	Reliefenergie beschreibt die relativen Höhenunterschiede im Umkreis von 500 Metern um den Nistplatz, welche für die Thermikentwicklung im Nistplatzbereich eine wichtige Rolle spielen.
Algorithmus	Reliefenergie (JAVA), entwickelt von Ryffel (2008) und David Caduff, GIUZ.

Tabelle 5.5: Beschreibung des Kriteriums Reliefenergie

5.6.3 Störpotential

Das Störpotential setzt sich aus den vier Kriterien Tourismus, Anlagen, Lärm und Flugverkehr zusammen.

Tourismus

Kriterium	Tourismus
Datengrundlage	SwissNames25 (Hütte), VECTOR25 (Übriger Verkehr: LSBahn, Skilifte)
Beschreibung	Tourismus beschreibt den Störeinfluss durch touristische Nutzungen, abhängig von der Distanz zu touristisch intensiv genutzten Gebieten um SAC-Hütten, Skilifte und Luftseilbahnen. Im Umkreis von 1'000 Metern um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.
Algorithmus	Multiple Ring Buffer (ArcGIS)

Tabelle 5.6: Beschreibung des Kriteriums Tourismus

Anlagen

Kriterium	Anlagen
Datengrundlage	VECTOR25 (Übriger Verkehr: MatBahn, Einzelobjekte: HSPLtg)
Beschreibung	Anlagen beschreiben den Störeinfluss durch festinstallierte, schlecht sichtbare Flughindernisse (Hochspannungsleitungen und Materialbahnen). Im Umkreis von 100 Metern um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.
Algorithmus	Multiple Ring Buffer (ArcGIS)

Tabelle 5.7: Beschreibung des Kriteriums Anlagen

Lärm

Kriterium	Lärm
Datengrundlage	VECTOR25 (Gebäude: ZSchiesstand)
Beschreibung	Lärm beschreibt den Störeinfluss durch Lärm, welcher bei der Nutzung von Schiessständen entsteht. Im Umkreis von 1'000 Metern um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.
Algorithmus	Multiple Ring Buffer (ArcGIS)

Tabelle 5.8: Beschreibung des Kriteriums Lärm

Flugverkehr

Kriterium	Flugverkehr
Datengrundlage	VECTOR25 (Primärflächen: ZFlArea)
Beschreibung	Flugverkehr beschreibt den Störeinfluss, welcher durch tief fliegende Flugzeuge und Helikopter in der Nähe von Flughäfen entsteht. Im Umkreis von 2'000 Metern um eine Störung sind keine Nistplätze möglich.
Algorithmus	Multiple Ring Buffer (ArcGIS)

Tabelle 5.9: Beschreibung des Kriteriums Flugverkehr

5.7 Schlussfolgerungen von Ryffel (2008)

Die Auswahl der Kriterien für eine Multikriterienanalyse (MCE) ist eine komplexe Angelegenheit. Eine MCE ermöglicht aber ein akzeptables Modell (Ryffel, 2008). Weitere Faktoren wie Nahrungsmittelzugänglichkeit, Strassen und Wanderwege, welche u.a. als dynamische Störungen gelten, konnten nicht berücksichtigt werden. Die Expertenmeinungen gehen zudem weit auseinander. Dadurch dass die Gewichtung zwar die Eignung ändert, aber nicht die räumliche Verteilung, kann diese Kluft etwas relativiert werden. Ryffel (2008) hält fest, dass es gelungen ist trotz Unsicherheiten in den Daten und in der Operationalisierung das Nistplatzpotential im Schweizer Alpenraum grossflächig in hoher Auflösung zu modellieren. Das Modell erfüllt seinen Zweck.

5.8 Begründung der Wahl

Die Studie stellt eine wichtige Anwendung von GIS dar. Die Durchführung einer Multikriterienanalyse ergibt entscheidungstragende Resultate für diverse Zwecke. Diese noch genauer zu beurteilen, wird immer essentieller. Nebst den äusserst wertvollen Resultaten hat der umfangreiche Gebrauch der Distanzfunktion Pufferung die Wahl der Studie massgeblich beeinflusst. Zusammen mit dem SNP, der grosse Ansprüche an möglichst präzise Modelle für Habitatsanalysen hegt, wurde die Studie von Ryffel (2008) ausgewählt und für die Zwecke dieser Arbeit als geeignet erklärt. Was bereits nach der Betrachtung der Kriterien festgehalten werden kann, ist, dass sich der Einfluss von neu eingebrachten Funktionen in diese Studie vorwiegend auf das Störpotential konzentrieren wird. Im Eignungspotential wird bereits das Digitale Höhenmodell DHM25 angewendet und damit der Geländecharakter miteinbezogen.

Kapitel 6

Methode: Puffer auf Oberfläche

In diesem Kapitel werden Methoden zur Erstellung eines Puffers vorgestellt.

6.1 Betrachtung eines Puffers

Ein Puffer ist definiert als Fläche um ein Objekt, in der eine festgelegte Distanz nicht überschritten wird. Folglich misst eine Pufferfunktion Distanzen ab. Distanzmessungen sind laut Tomlin (2010) eine der am häufigsten benutzten Funktionen im heutigen Gebrauch von geographischen Informationssystemen.

6.2 Möglichkeiten der Erstellung eines Puffers in ArcGIS

Die Umgebung ArcGIS erlaubt in der Idee nur eine einzige Funktion zur Pufferung. Die Funktion *Buffer* befindet sich unter den Nachbarschaftswerkzeugen in der *Analysis Toolbox*. Eine weitere Möglichkeit Distanzen abzuschätzen stellen die sogenannten Kostenentfernungswerkzeuge im *Spatial Analyst* dar.

6.2.1 Distanzpuffer

Die einfachste Art einen Puffer zu legen, ist die Funktion *Buffer*. Diese erlaubt eine Fläche um Features zu legen, die eine maximale Entfernung nicht überschreitet. Ob Objekte dabei als Punkte, Linien oder Polygone dargestellt sind, spielt keine Rolle. Der Abstand wird dabei mit der euklidischen Distanz berechnet. Deshalb ist das Pendant zu dieser Anwendung die Funktion *Euclidean Distance* im *Spatial Analyst*. Diese Resultate stellen die zweidimensionale Lösung für das Pufferproblem dar. Sie arbeiten auf der Projektion der Realität in die Ebene. Um Resultate von Kostenentfernungsfunktionen und der Projektion vergleichen zu können, wurde in dieser Arbeit nicht die Vektorfunktion benutzt, sondern die euklidische Distanz, die der Funktion im Rasterformat entspricht.

6.2.2 Kostenentfernung

Beschreibung

Die Kostenentfernungswerkzeuge bedingen sich in der Distanzbox des *Spatial Analysts* von ArcGIS. Diese berechnen für jede Rasterzelle die geringsten Kostendistan-

zen zu ihrer nächsten Quelle. Die Quellen können dabei Vektorfeatures, wie Punkte, Linien oder Polygone sein, wobei die Oberflächen zwingend im Rasterformat vorliegen müssen. In der Kiste befinden sich die beiden vergleichbaren Funktionen *Path Distance* und *Cost Distance*. Sie haben gemeinsam, dass sie die kleinsten Reisekosten von einer Quelle zu jedem Ort auf der Oberfläche bestimmen. Da *Path Distance* noch weitere Parameter miteinbezieht ist es etwas komplexer. Da diese Funktion die wahren Oberflächendistanzen zwischen den Zellmittelpunkten miteinbezieht, wurde sie für diese Arbeit als geeignet betrachtet.

Algorithmus

Der Algorithmus macht Gebrauch von einer Zellenrepräsentation mit Knoten und Verknüpfungen. Knoten werden dabei als Zellenmittelpunkte betrachtet, wobei jeder Knoten durch eine Verknüpfung mit den direkt benachbarten Knoten verbunden ist. Jede Verknüpfung hat ein Gewicht, das von den Kosten der beiden Knotenenden abgeleitet wird. Diese Kosten könnten zum Beispiel von einem Oberflächenmodell stammen. Die Kosten zu einer der vier direkt benachbarten Zellen werden wie folgt berechnet:

$$a1 = \frac{cost1 + cost2}{2} \quad (6.1)$$

Wobei: *cost1* den Reisekosten durch Zelle 1 entspricht und *cost2* denen durch Zelle 2. *a1* gilt als Platzhalter für die Kosten der Verknüpfung von Zelle 1 zu Zelle 2.

Um von Zelle 1 zu einer nächsten Zelle vorzustossen, werden die Kosten akkumuliert. Dies geschieht mit folgender Formel:

$$Cost = a1 + \frac{cost2 + cost3}{2} \quad (6.2)$$

Wobei: *cost2* den Reisekosten durch Zelle 2 entspricht und *cost 3* denen durch Zelle 3. *Cost* entspricht den akkumulierten Kosten von Zelle 1 zu Zelle 3.

Bewegungen die über die diagonalen Verknüpfungen fließen, werden wie folgt berechnet:

$$a1 = \sqrt{2} \frac{cost1 + cost2}{2} \quad (6.3)$$

Akkumuliert werden die diagonalen Kosten, wie diejenigen von geraden Bewegungen.

$$Cost = a1 + \sqrt{2} \frac{cost1 + cost2}{2} \quad (6.4)$$

Die Erstellung eines ganzen solchen Kostenentfernungsrasters mit diesen Formeln ist ein iterativer Prozess, der bestrebt ist, die kleinsten Kosten zu finden. Diese werden als Ausgabe ins Outputraster geschrieben. Als erstes werden die Quellzellen identifiziert und die Kosten zu ihren direkten Nachbarn errechnet. Neu wird der kleinste Wert als aktuelle Quelle verwendet. Die Kosten zu den direkten Nachbarn werden wie vorher bestimmt. Dieser Prozess wird wiederholt, bis alle Zellen des Rasters verwendet wurden.

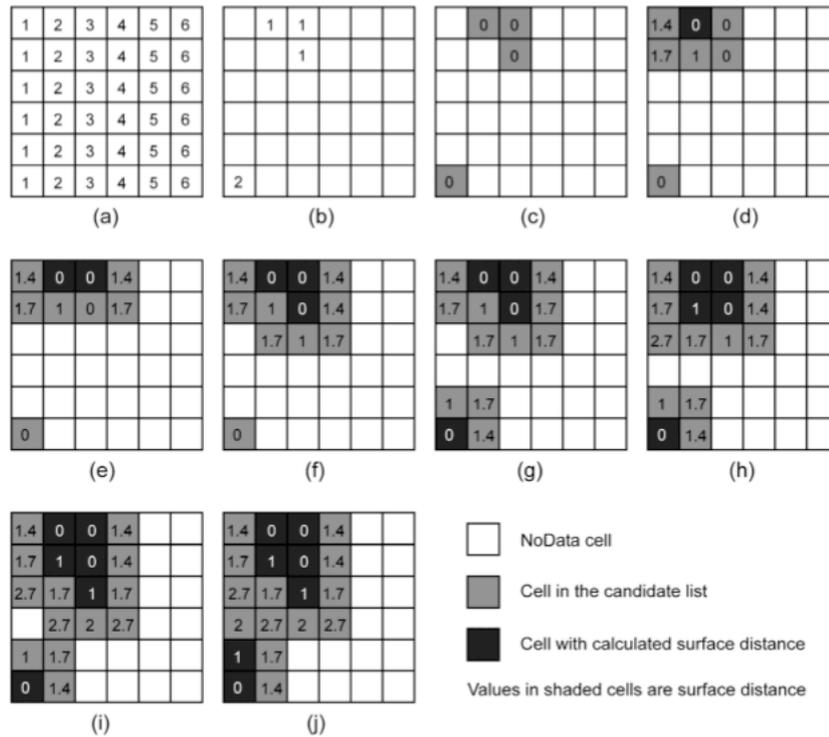


Abbildung 6.1: Berechnung der Kosten auf eine Beispieloberfläche nach Li et al. (2005)

Abbildung 6.1 fasst die wesentlichen Schritte graphisch zusammen, wobei die *candidate list* eine nach Grösse geordnete Liste aller verfügbaren Werte darstellt um den Kleinsten immer neu zu bestimmen.

- (a) Beispieloberfläche
- (b) Quellraster mit 4 Quellzellen
- (c) Identifikation der Quellzellen, welche mit einem Kostenwert von 0 bestimmt sind.
- (d) - (g) Berechnung der Kostenwerte von den Quellzellen zu ihren direkten Nachbarn und Beispiel für die Weiterentwicklung mit dem kleinsten Wert.
- (h) - (j) Kostenwertberechnung für drei weitere Zellen, nach Li et al. (2005)

6.3 Puffergenerierung

Unter diesem Abschnitt werden die vorher beschriebenen Funktionen *Euclidean Distance* und *Path Distance* mit ArcGIS visualisiert. Er soll eine Idee davon geben, wie die Algorithmen hinter den Funktionen rechnen. Abbildung 6.2 zeigt die Erstellung eines Puffers um ein Punktobjekt in den vorgestellten Methoden. Der schwarz gezeichnete Kreis beschreibt die Fläche des euklidisch erstellten Puffers. Die dunkelblaue Fläche zeigt die Fläche des Puffers, welcher mit Path Distance über eine Ebene erstellt wurde. Sie beschreibt ein Achteck. Der hellblaue Puffer widerspiegelt die Methode Path Distance, die unter Einbezug des DHM25 gerechnet wurde. Es ist deutlich zu erkennen, dass grosse Flächenunterschiede zwischen den drei Methoden vorzufinden sind.

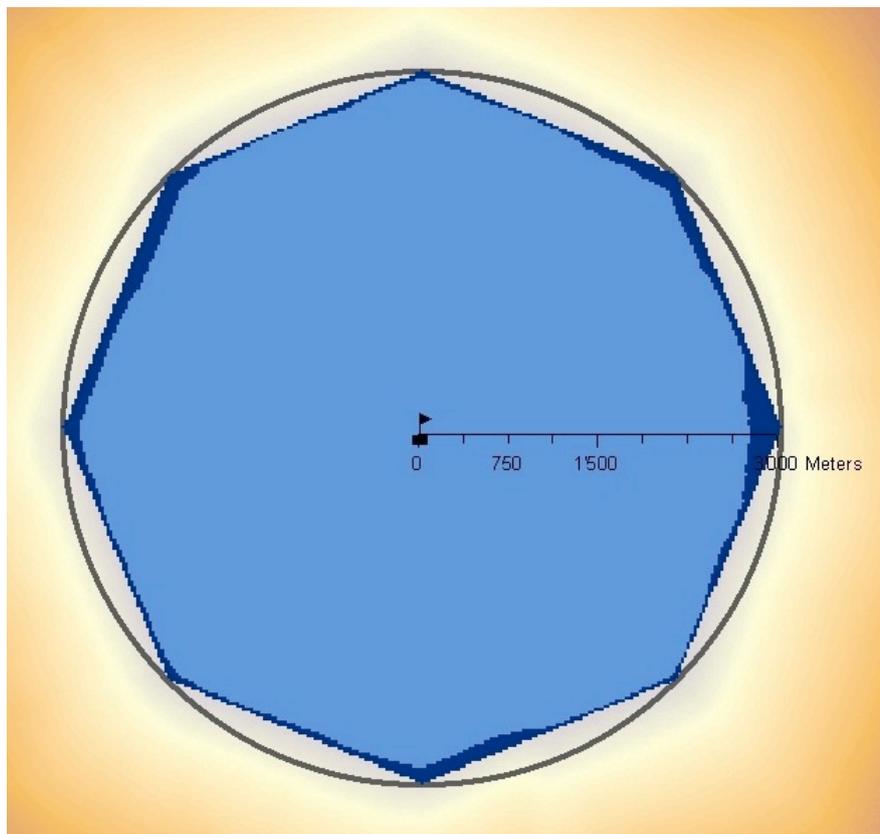


Abbildung 6.2: Puffer um Punktobjekt mit den drei Methoden Euclidean Distance, Path Distance 2D und Path Distance 3D

Kapitel 7

Experimente mit Puffern auf Oberflächen

Diese Arbeit hat einen starken experimentellen Charakter. In diesem Kapitel wird dieser Aspekt beschrieben. Es wird aufgezeigt, welche Tests durchgeführt wurden um die Fragen zur Sensitivität zu beantworten. Die angewandten Funktionen beschränken sich hier, wie im vorhergegangenen Kapitel aufgezeigt, auf diejenigen von ArcGIS. Welche Experimente durchgeführt werden, ist in Abbildung 7.1 dargestellt. Wie zu erkennen ist, teilen sich die Experimente in zwei Gruppen auf. Zum einen werden einzelne Puffereinheiten isoliert betrachtet. Hierzu dient eine Parkhütte als Beispiel für ein Punktobjekt und ein Abschnitt einer Hochspannungsleitung als Exempel für ein Linienfeature. Zum anderen werden Experimente mit der Studie von Ryffel (2008) durchgeführt, welche die Kriterien separat behandeln und schliesslich das Störpotential betrachten.

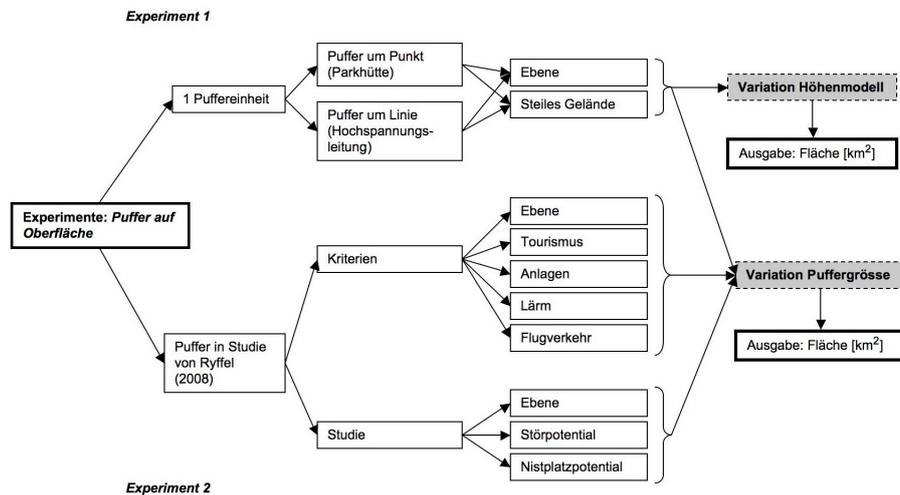


Abbildung 7.1: Experimentdesign

Die Experimente werden in jedem angewandten Fall mit drei unterschiedlich genutzten Funktionen durchgeführt. Erstens werden sie, entsprechend zu Ryffel (2008), in der Projektion mit der euklidischen Distanz (*euclidean Distance*) errechnet. Zweitens werden sie unter Einbezug der Oberfläche mit der Kostenentfernungsfunktion *Path Distance* berechnet. Als letztes werden sie nochmals mithilfe der Kostenentfernung berechnet, dieses Mal allerdings unter Einbezug einer total ebenen Fläche. Da-

mit kann auch die Funktion *Path Distance* getestet werden. Die gepufferten Flächen werden schliesslich mit der Funktion *Surface Volume* ausgegeben, welche bereits in Kapitel 3 vorgestellt wurde.

7.1 Experiment 1: Sensitivität von Puffern auf Oberflächen

7.1.1 Aufbau

Die Experimentenkette 1 beinhaltet die Betrachtung von isolierten Puffern. Es wird in zwei Gruppen unterteilt. Der eine Strang experimentiert anhand der Parkhütte Chamanna Cluozza, die zur Gemeinde Zernez gehört und innerhalb des SNP liegt. Die zweite Richtung schlägt in die eines Linienobjekts. Als Beispiel dafür wurde ein Abschnitt der Hochspannungsleitung ausgewählt, der an den Park grenzt. Ziel dieses Experiments ist es, die Flächen dieser einzelnen Puffer zu bestimmen und auf ihre Sensitivität zu testen. Dies geschieht hier mit Hilfe der Variation der Auflösung des Höhenmodells und der Variation der Puffergrössen.

Variation Auflösung	4	10	25	50	100	200
Variation Puffergrösse (Punktobjekt)	100	200	500	1000	2000	3000
Variation Puffergrösse (Linienobjekt)	50	100	200	500	1000	2000

Tabelle 7.1: Übersicht über die Variation der Parameter [m] in Experiment 1

Die Tabelle 7.1 gibt eine Übersicht über die variierenden Parameter in den Experimenten der Kette 1. Die Auflösungsvariation ist stark abhängig von den verfügbaren Höhenmodellen. In diesem Experiment wurden die Höhenmodelle DTM4 und DHM25 verwendet. Die Auflösung von 10 Metern wurde durch ein Resampling des DTM4 erreicht, wobei die restlichen Auflösungen durch das DHM25 errechnet wurden.

7.1.2 Datenlage

Die Datenlage für Experiment 1 ergibt sich aus derjenigen der Studie von Ryffel (2008). Diese wurden in Kapitel 5.4 vorgestellt. Es sind dies die Datensätze DHM25, VECTOR25 und SwissNames25 und Auszüge aus dem Atlas der Schweiz. Die Daten wurden ergänzt durch das digitale Höhenmodell DTM4 des SNP, welches bereits in Kapitel 3 Anwendung gefunden hat.

7.1.3 Puffer um Punktobjekt

Die Parkhütte Chamanna Cluozza liegt inmitten der wilden Val Cluozza auf ca. 1882 m ü.M. Seit über hundert Jahren steht sie an dieser Stelle und bietet heute Platz für 63 Personen Schweizer Nationalpark. Die Blockhütte liegt an einer Flanke eines engen und steilen Tales. Da der Geländecharakter aufgrund dessen beim Vergleich mit der Projektion vermutlich Auswirkungen zeigen wird, wurde diese Hütte ausgewählt. Ein weiterer Grund war, dass sie innerhalb des Gebietes liegt, welches das DTM4 des Nationalparks abdeckt, damit dieses zur Anwendung gebracht werden kann.

7.1.4 Puffer um Linienobjekt

Für ein Linienobjekt wurde ein Abschnitt der Hochspannungsleitung gewählt. Dieser Abschnitt befindet sich komplett an einer Hanglage entlang der Spöl, welcher vom Dorf Zernez aus Richtung Ofenpass führt. Die Leitung überwindet eine Höhendifferenz von ca. 200 Metern und ist in 2D ca. 3'250 Meter lang. Über die Oberfläche gerechnet besitzt sie eine Länge von ca. 3'530 Metern. Sie befindet sich ebenfalls innerhalb des Gebietes, welches vom DTM4 des Nationaparks abgedeckt wird, damit auch hier dieses in der Variation des Höhenmodells angewandt werden kann.

7.2 Experiment 2: Einfluss von Oberflächenfunktionen in ökologischen Eignungsanalysen

7.2.1 Aufbau

Für die Experimentenkette 2 wurde die Studie von Ryffel (2008) erneut aufgebaut. Diese Multikriterienanalyse stellt eine hervorragende Grundlage um die Sensitivität des Geländecharakters abzuschätzen, da sie häufig Gebrauch der Distanzfunktion *Buffer* macht. Da der Einfluss dieser sich auf das Störpotential beschränkt, wird das Hauptaugenmerk auch darauf gelegt. Das Experiment teilt sich in zwei Untergattungen auf. Vorerst werden die vier Kriterien des Störpotentials betrachtet. Diese Faktoren werden für den zweiten Teil miteinander kombiniert und das Stör-, wie das Nistplatzpotential begutachtet. In dieser Kette wird der Fokus auf die Variation der Puffergrösse gelegt, welche in Tabelle 7.2 aufgezeigt ist. Das dabei verwendete Höhenmodell ist das häufig benutzte DHM25 von Swisstopo.

Variation Puffergrösse	100	200	500	1000	1500	3000
------------------------	-----	-----	-----	------	------	------

Tabelle 7.2: Übersicht über die Variation der Puffergrösse [m] in Experiment 2

7.2.2 Datenlage

Die Datenlage für Experiment 2 ergibt sich aus derjenigen der Studie von Ryffel (2008). Diese wurden in Kapitel 5.4 vorgestellt. Es sind dies die Datensätze DHM25, VECTOR25 und SwissNames25 und Auszüge aus dem Atlas der Schweiz.

7.2.3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet für die Experimente mit der Studie von Ryffel (2008) wurde aufgrund der häufigen Wiederholungen und damit verbundenen Rechenzeit stark eingeschränkt. Während Ryffel (2008) das Gebiet über den gesamten Schweizer Alpenraum miteinbezieht, wird hier ein Raum abgegrenzt der den SNP und einen grossen Teil des Kantons Graubünden beinhaltet. Die Fläche beträgt 4'560 km² und entspricht damit etwas mehr als einem Achtel des ursprünglichen Untersuchungsgebietes.

7.2.4 Kriterien

Tourismus

Der Faktor Tourismus wurde mit der Variation gemäss Tabelle 7.2 miteinbezogen. Dieses Kriterium besteht aus den Datensätzen *Hütten* und *Übriger Verkehr* (Skilifte und Luftseilbahnen), die zuerst einzeln gepuffert und dann zusammengefügt wurden.

Anlagen

Der Faktor Anlagen wurde mit der Variation gemäss Tabelle 7.2 miteinbezogen. Dieses Kriterium besteht aus den Datensätzen *Übriger Verkehr* (Materialbahnen) und *Einzelobjekte* (Hochspannungsleitungen), die zuerst einzeln gepuffert und dann zusammengefügt wurden.

Lärm

Der Faktor Lärm wurde mit der Variation gemäss Tabelle 7.2 miteinbezogen. Dieses Kriterium besteht aus dem Datensatz *Einzelobjekte* (Schiessstände) von VECTOR25.

Flugverkehr

Der Faktor Flugverkehr konnte im Untersuchungsgebiet nicht berücksichtigt werden, da im gewählten Raum keine Objekte gemäss VECTOR25 vorhanden sind. Damit aber das Resultat der Potentiale dennoch gemäss Ryffel (2008) stimmt, wurde er als homogene Fläche guter Eignung und keiner Störung miteinbezogen.

7.2.5 Potentiale

In den Experimenten wurde das Augenmerk auf das Störpotential und das Nistplatzpotential gelegt, da dort die Auswirkung der Pufferung vorhanden sind. Im Eignungspotential sind bereits einige geländeberücksichtigende Funktionen eingebaut, die nicht variiert werden oder nicht variiert werden können. Das Störpotential wurde gemäss der Gewichtung von Ryffel (2008) errechnet. Die Erstellung folgte innerhalb der entsprechenden Variation der Puffergrösse. Das Nistplatzpotential ist eine Kombination aus dem Störpotential und dem Eignungspotential. Diese werden durch die Gewichtung gemäss der Studie von Ryffel (2008) verschnitten. Der Vergleich des Nistplatzpotentials dieser Arbeit und demjenigen von Ryffel (2008) gibt Auskunft darüber, ob die Studie korrekt nachgebaut wurde.

Kapitel 8

Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate der Experimente vorgestellt. Bei allen Resultaten soll festgehalten werden, dass nach der Beschreibung in Kapitel 6, der Puffer mit der Euklidischen Distanz grösser sein muss als die beiden anderen Puffer, die über die Kostenentfernung gerechnet wurden. Der Puffer, der das Höhenmodell miteinbezieht, müsste demnach immer der kleinste der drei sein.

8.1 Experiment 1: Sensitivität von Puffern auf Oberflächen

Wie in der Experimentbeschreibung in Kapitel 7 aufgeführt ist, widmet sich die erste Experimentenkette einzelnen Pufferobjekten. In einem ersten Teil wurde der Einfluss der Auflösung untersucht. Dieser Aspekt ist im ersten Experiment einmalig, d.h. er wird nur hier berücksichtigt. Im zweiten Teil wird der Einfluss der Puffergrösse auf einzelne Objekte genauer untersucht. Die Abschnitte sind jeweils unterteilt nach den Objektarten Punkt und Linie.

8.1.1 Einfluss der Auflösung

In Abbildung 8.1 ist je ein Puffer um ein Punkt- und ein Linienobjekt visualisiert. Sie zeigt die unterschiedliche Deckungsfläche der Pufferung mit einer 4 Meter bzw. einer 50 Meter Auflösung.

Punkt

In Abbildung 8.2 sind die Resultate für den Einfluss der Auflösung bei Punktobjekten geplottet. Die Diagramme sollen die Abhängigkeit der Zellgrösse eines Rasters auf die Fläche von Puffern erläutern. Die verwendeten Höhenmodelle enthalten Maschenweiten von 4, 10, 20, 25 und 50 Metern. Die Pufferdistanzen reichen von 100 bis 3'000 Meter, gemäss Tabelle 7.1.

Die Resultate zeigen erstens sehr deutlich, dass die euklidische Distanz die grösste Fläche ergibt. Die grüne Linie bleibt immer zu oberst in den Abbildungen. Der weitere Verlauf spiegelt ebenfalls die Erwartungshaltung wider. Die Puffer über die Oberfläche sind immer diejenigen mit den tiefsten Werten. Die Fläche ist bei dieser Methode die kleinste. Zweitens ist hier sehr eindrucksvoll zu beobachten, dass die Auflösung, je grösser die Pufferdistanz ist, immer weniger Einfluss hat. Die Kurven

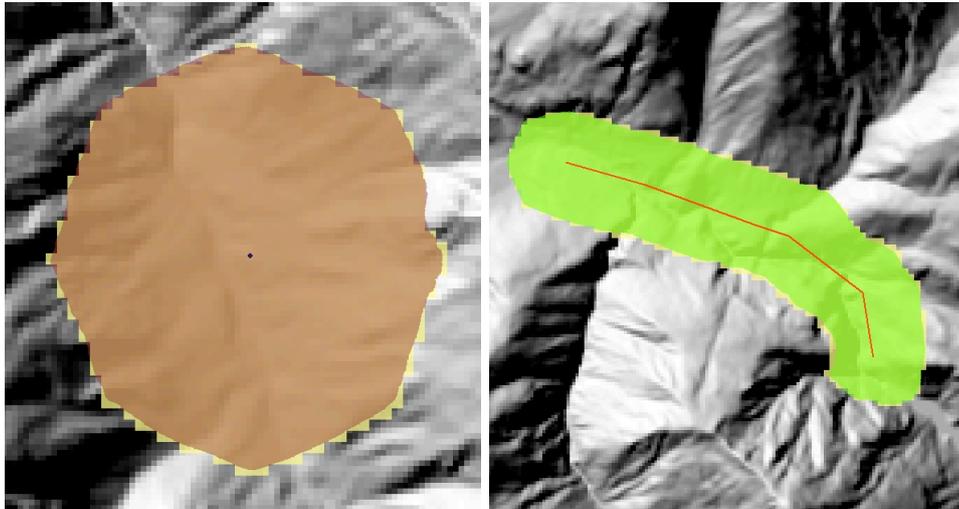


Abbildung 8.1: Beispiele für Flächenunterschied zwischen Maschenweiten 4 und 50 Metern. Links: 1'000-Meter-Puffer um Punktobjekt; Rechtes: 500-Meter-Puffer um Linienobjekt. Angewandte Methode: Path Distance 3D.

weiten sich fast zu einer Horizontalen. Bei einer Puffergrösse von 3'000 Metern kann kaum mehr von einer Abhängigkeit gesprochen werden. Die Abhängigkeit der Auflösung ist somit sehr gering, zumindest ab einer Pufferdistanz von 500 Metern. Drittens muss aber dennoch festgehalten werden, dass die Methode der Pufferung einen doch markanten Einfluss hat. Der Unterschied, ob eine Studie in 2D oder 2.5D gerechnet wird, ist hier deutlich erkennbar.

Linie

In Abbildung 8.3 sind die Resultate für den Einfluss der Auflösung bei Linienobjekten dargestellt. Die abgebildeten Pufferdistanzen reichen hier von 100 bis 2'000 Meter. Zudem wurde auch eine Länge von 50 Metern in Betracht gezogen. Da die Daten aber zu willkürlich gestreut waren, sind sie für eine Auswertung als Artefakte erkannt worden und nicht dargestellt. Die Maschenweiten der Höhenmodelle sind 4, 10, 20, 25 und 50 Meter.

Die Resultate zeigen erstens, dass die Berechnung in 3D über die Oberfläche stets die tiefsten Flächenwerte aufweist. Die entspricht der Erwartungshaltung. Was aber auffällt ist die Überschneidung der Kurven bei 100, 200 und 500 Meter Pufferdistanzen. Dort ist nicht immer der Puffer mit der euklidischen Distanz am höchsten, sondern diejenigen der Kostenentfernungsmethode in 2D. Der Schnittpunkt dieser beiden Kurven verlegt sich mit zunehmender Pufferdistanz nach hinten bis die euklidisch berechnete Fläche komplett über die rote Kurve (Path Distance 2D) ansteigt. Zweitens darf hier festgehalten werden, dass die Abhängigkeit der Auflösung mit zunehmender Pufferdistanz abnimmt. Bei der grössten verwendeten Distanz scheinen alle Linien horizontal zu liegen, was auf kaum einen Einfluss hindeutet.

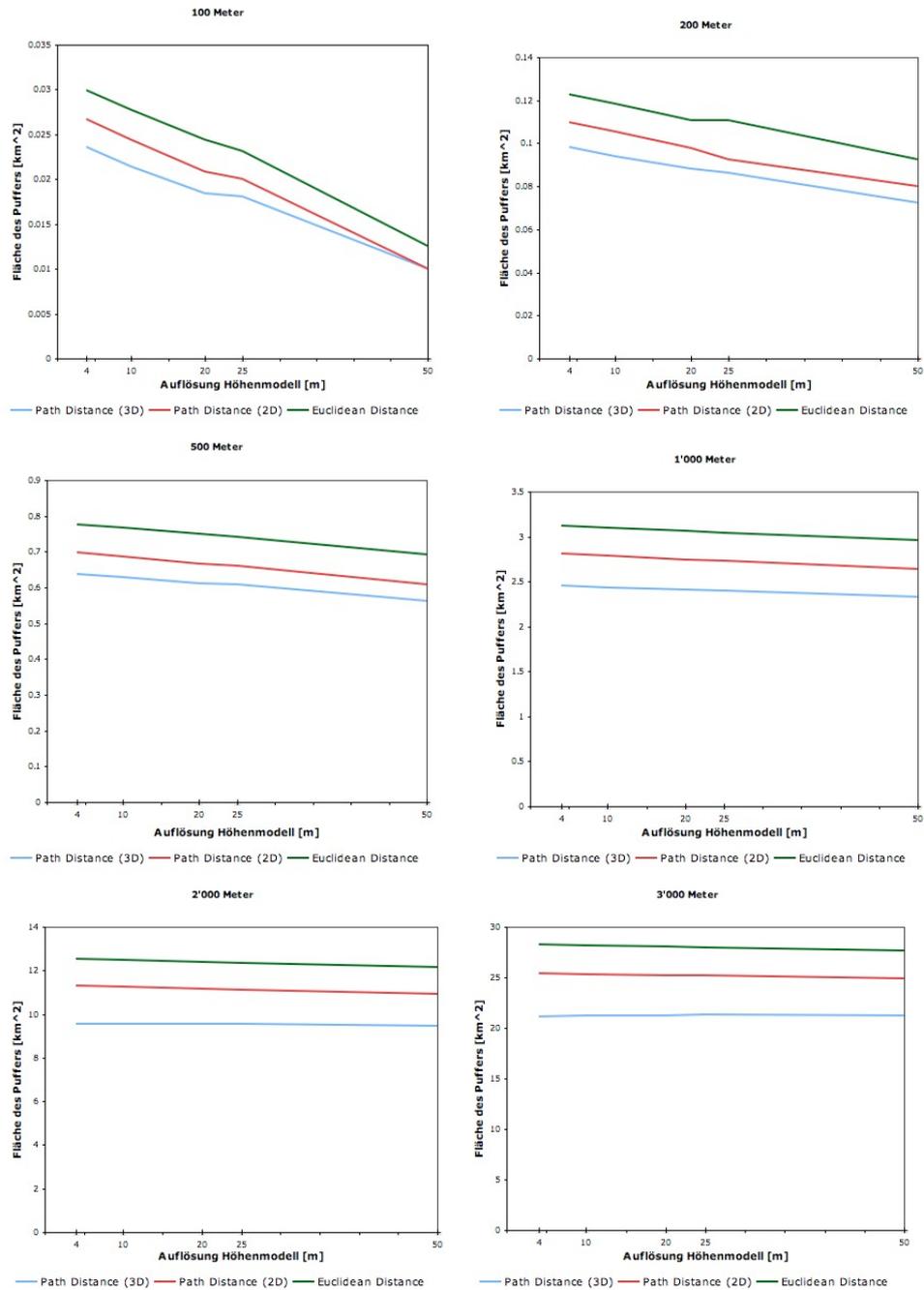


Abbildung 8.2: Einfluss der Auflösung bei Punktobjekten (von o.l. nach u.r.: 100, 200, 500 Meter bis 3'000 Meter Puffer)

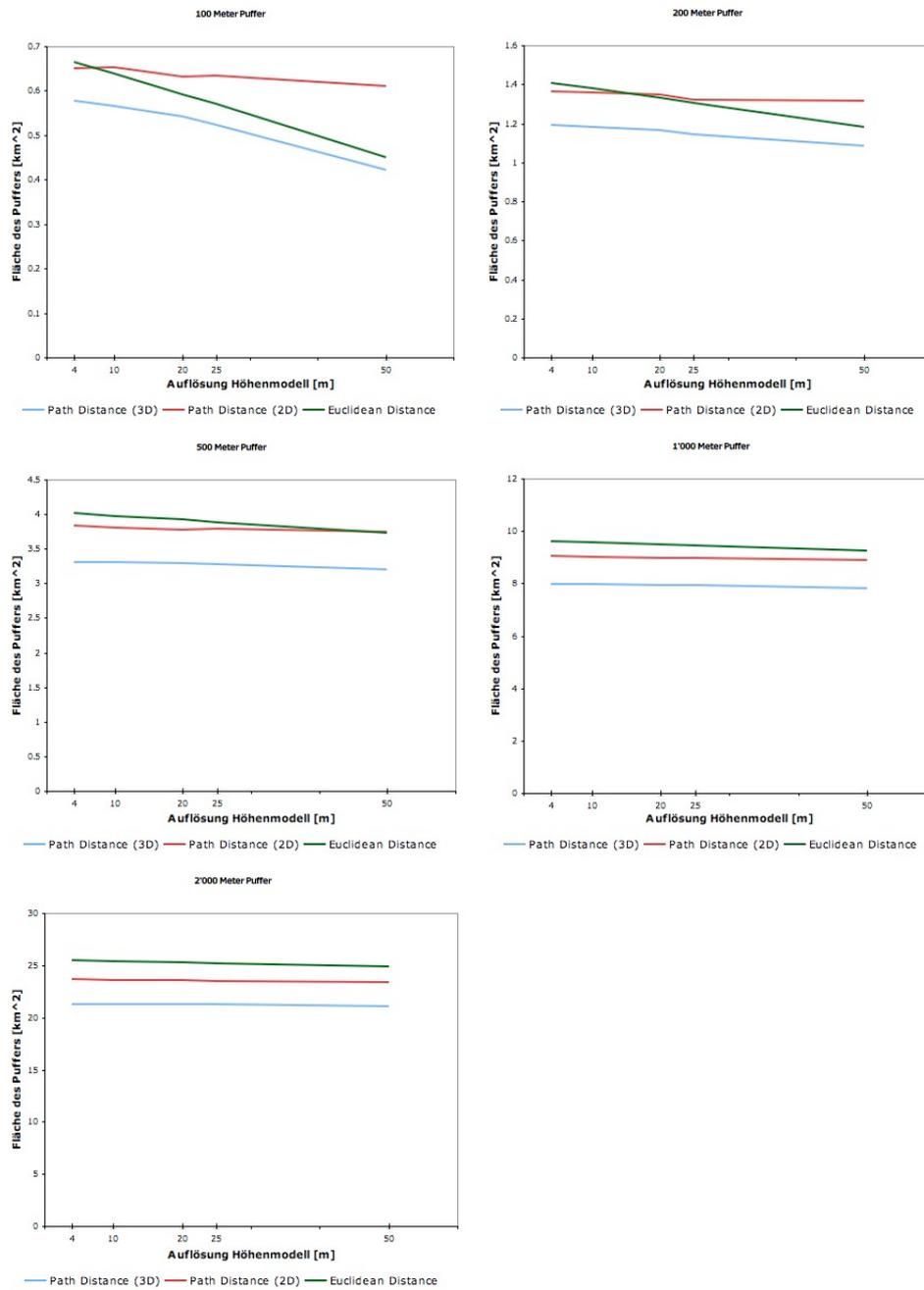


Abbildung 8.3: Einfluss der Auflösung bei Linienobjekten (von o.l. nach u.: 100, 200, 500, 1'000 und 2'000 Meter Pufferdistanz)

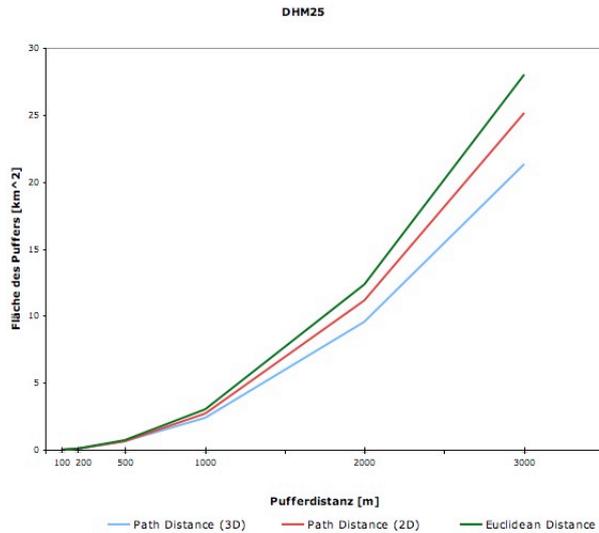


Abbildung 8.4: Einfluss der Pufferdistanz bei Punktobjekten, Auflösung: 25 Meter

8.1.2 Einfluss der Pufferdistanz

Punkt

Da die Kurven bei den Resultaten für verschiedene Pufferdistanzen alle ziemlich ähnlich aussehen und den gleichen Verlauf zeigen, steht die Abbildung 8.4 mit der Auflösung von 25 Metern als Platzhalter für diesen Zusammenhang. Die verwendeten Pufferdistanzen sind 100, 200, 500, 1'000, 2'000 und 3'000 Metern.

Pufferdistanzen [m]	100	200	500	1'000	2'000	3'000
Path Distance 3D	21.6	22.0	17.8	21.0	22.7	23.9
Path Distance 2D	13.5	16.4	10.9	10.2	10.1	10.1

Tabelle 8.1: Relative Flächenänderungen bei Punktobjekt gegenüber der euklidischen Pufferung [%].

Die Resultate zeigen erstens einen sehr markanten Anstieg der Fläche mit Zunahme der Puffergröße. Die Kurve folgt dabei nicht einer linearen Steigung, sondern gleicht eher einem exponentiellen Wachstum. Dies bedeutet, dass die Fläche bei größeren Pufferdistanzen stärker ansteigt als bei kleineren. Zweitens ist die euklidische Pufferung stets am höchsten. Bei den beiden Kostenentfernungsmethoden ist wie zu erwarten die 2D-Variante höher und somit die 3D-Lösung die kleinste. Dabei fällt auf, dass sich die Kurven mit zunehmender Pufferdistanz immer weiter voneinander entfernen. Wobei sich diese allerdings bei sehr kleinen Pufferdistanzen von 100 und 200 Metern extrem annähern und fast aufeinander zu liegen kommen. Somit scheint erst ab Pufferdistanzen von ca. 500 Metern eine Beeinflussung der Fläche stattzufinden. Bei weiten Distanzen ist die Abhängigkeit grösser als bei kurzen, da sich mit zunehmender Pufferdistanz der absolute Flächenunterschied enorm erhöht.

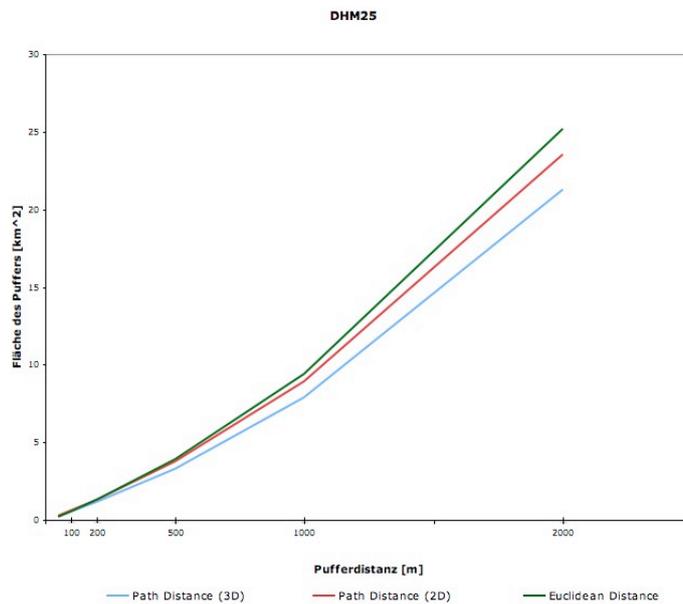


Abbildung 8.5: Einfluss der Pufferdistanz bei Linienobjekten, Auflösung: 25 Meter

Linie

Da die Kurven bei den Linienobjekten alle ziemlich ähnlich aussehen und den gleichen Verlauf zeigen, steht das Diagramm mit der Auflösung von 25 Metern als Platzhalter für diesen Zusammenhang. Die verwendeten Pufferdistanzen sind 100, 200, 500, 1'000 und 2'000 Meter.

Pufferdistanzen [m]	100	200	500	1'000	2'000
Path Distance 3D	8.5	12.2	15.7	16.0	15.6
Path Distance 2D	-11.2	-1.2	2.5	5.1	6.7

Tabelle 8.2: Relative Flächenänderungen bei Linienobjekt gegenüber der euklidischen Pufferung [%].

Die Kurven für Linienobjekte zeigen einen eher linearen Verlauf, obwohl der Anstieg eine Tendenz beschreibt, bei der die Zunahme der Fläche mit steigender Pufferdistanz anwächst. Die euklidisch berechneten Puffer bleiben stets als grösste Flächenwerte im Diagramm deutlich sichtbar. Einhergehend mit Punktobjekten sind die Pufferflächen mit Berechnung über die Oberfläche deutlich am kleinsten. Knapp zu erkennen ist die Lage der roten (Path Distance 2D) und der grünen (Euclidean Distance) Linie. Diese beiden Kurve überlappen fast bis Pufferdistanzen von 1'000 Metern, wobei sich die blaue (Path Distance 3D) schon deutlich abgesetzt hat. Des Weiteren ist festzuhalten, dass die Flächenänderung zwischen den verschiedenen Methoden sichtbar ist. Der Einfluss des Geländes nimmt mit zunehmender Pufferdistanz deutlich zu. Bei tiefen Distanzen ist der Effekt weit weniger zu beobachten.

8.2 Experiment 2: Einfluss von Oberflächenfunktionen in ökologischen Eignungsanalysen

Die zweite Experimentenkette widmet sich nun der Eignungsanalyse von Ryffel (2008). Da sich der Auflösungseinfluss in Experiment 1 in Grenzen gehalten und keine grossen Auswirkungen gezeigt hat, untersucht Experiment 2 den Einfluss der Pufferdistanz auf die Multikriterienanalyse von Ryffel (2008). In einem ersten Teil werden die Kriterien begutachtet, wie sie auf die Änderung reagieren. In einem zweiten Teil wird auf das Gesamtmodell verwiesen, in welchem das Störpotential und schliesslich das Nistplatzpotential auf ihre Geländesensitivität geprüft werden. Eine Auflistung der relativen Flächenänderungen befindet sich in Tabelle 8.3.

Kriterium	Funktion	100	200	500	1'000	1'500	3'000
Tourismus	Path Distance 3D	0.2	5.3	15.4	10.7	11.7	9.6
	Path Distance 2D	-8.6	1.0	3.3	5.1	5.6	4.6
Anlagen	Path Distance 3D	2.8	6.2	8.3	10.0	10.8	10.4
	Path Distance 2D	-10.7	-1.1	0.7	2.5	3.1	3.8
Lärm	Path Distance 3D	13.6	16.4	15.8	16.1	16.3	14.0
	Path Distance 2D	9.7	13.0	10.3	9.8	9.5	7.6
Störpotential	Path Distance 3D	0.0	0.2	-1.2	-3.6	-6.8	-17.3
	Path Distance 2D	0.2	0.0	-0.3	-1.4	-2.7	-7.4

Tabelle 8.3: Relative Flächenänderungen der Kriterien von Ryffel (2008) gegenüber der euklidischen Pufferung [%].

8.2.1 Kriterien

Der folgende Abschnitt präsentiert die Resultate für die Kriterien des Störpotentials aus der Studie von Ryffel (2008). Ausschnitte aus den Pufferflächen sind in den Abbildungen 8.6, 8.8 und 8.10 enthalten. Dabei stellt die dunkle oberste Fläche das Resultat der euklidischen Methode dar. Die rote Fläche ist die 2D-Pufferung der Funktion Path Distance und die blaue die Methode Path Distance 3D.

Tourismus

Das Kriterium Tourismus besteht aus zwei Elementen verschiedener Objektarten. Es ist aus Punkt- und Linienobjekten zusammengesetzt. Die Entwicklung in Abbildung 8.7 zeigt einen fast linearen Verlauf. Die Kurven scheinen über die ausgewählten Pufferdistanzen eher gleichmässig anzusteigen. Die Flächen steigen mit zunehmender Pufferdistanz konstant an. Weiter ist zu beobachten, dass die Reihenfolge der übereinander liegenden Linien die Erwartungshaltung widerspiegelt. Die euklidische Pufferung hat stets die höchsten Flächenwerte, während die Pufferung mit der Methode Path Distance 3D (blau) stets die kleinsten aufweist. Die absoluten Flächenunterschiede werden mit zunehmender Pufferdistanz deutlich grösser, da sich die Kurven umso mehr voneinander entfernen. Der Geländecharakter zeichnet sich somit markant ab.

Anlagen

Das Kriterium Anlagen besteht ebenfalls aus zwei Elementen. Es ist aus Linienobjekten zusammengesetzt. Der Verlauf in Abbildung 8.9 zeigt einen praktisch linearen Verlauf. Die Flächenwerte steigen mit zunehmender Puffergrösse konstant an. Wie

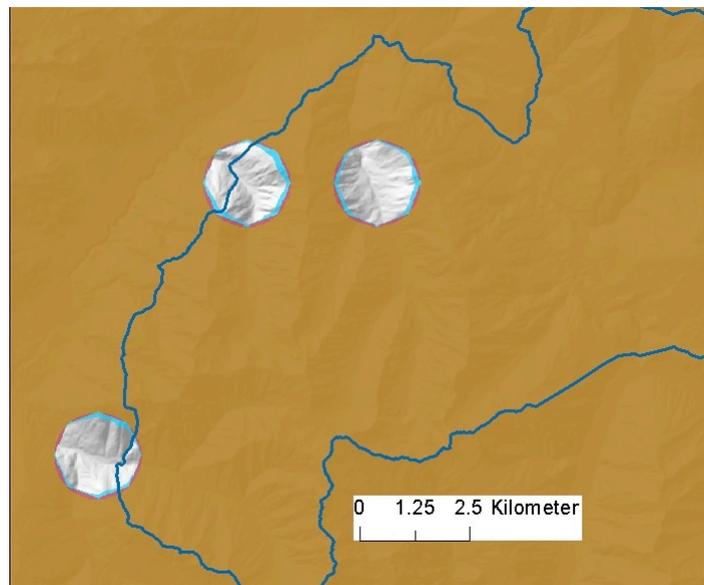


Abbildung 8.6: Ausschnitt aus der Pufferfläche des Kriteriums Tourismus, Pufferdistanz: 1'000 Meter

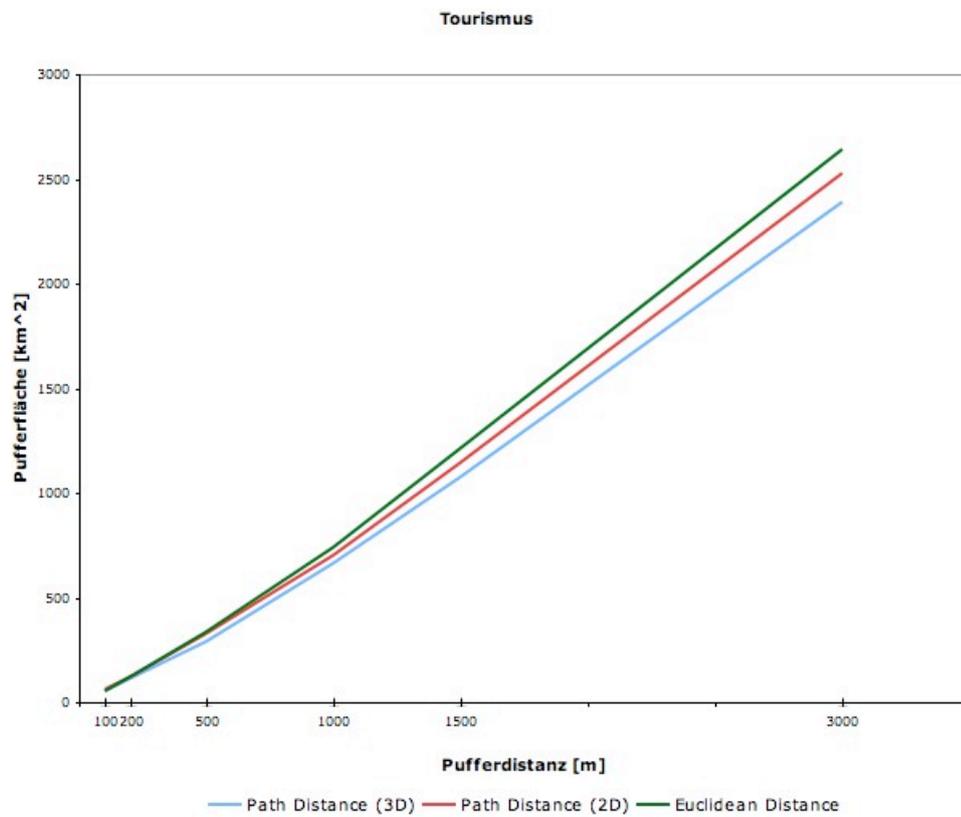


Abbildung 8.7: Einfluss der Pufferdistanz beim Kriterium Tourismus

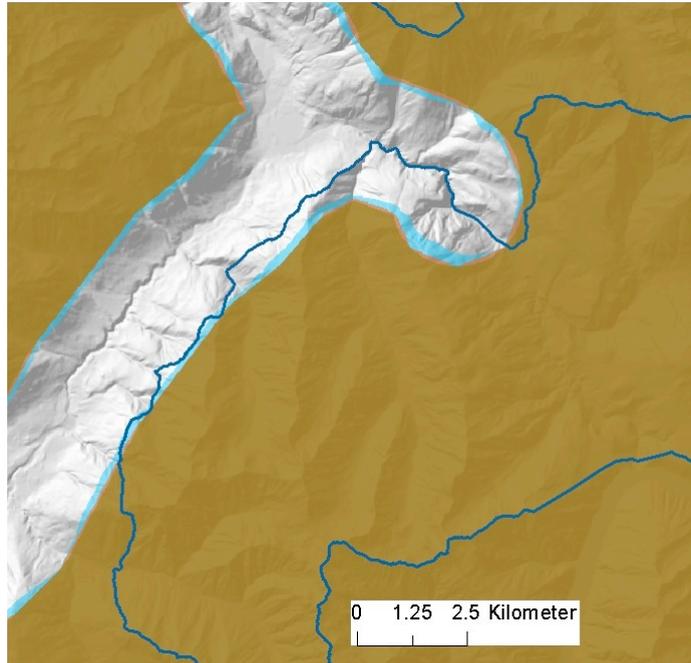


Abbildung 8.8: Ausschnitt aus der Pufferfläche des Kriteriums Anlagen, Pufferdistanz: 1'500 Meter

zu erwarten war, ist die euklidische Pufferung (grün) die Methode mit den höchsten Werten und die Pufferung mit Path Distance 3D (blau) diejenige mit den kleinsten Werten. Die absoluten Flächenunterschiede steigen mit zunehmender Pufferdistanz deutlich an. Zu weiten Teilen decken sich die rote (Path Distance 2D) und die grüne (Euclidean Distance) Linie. Dies vor allem bei tieferen Pufferdistanzen.

Lärm

Das Kriterium Lärm besteht aus dem Element *Schiessstand* in VECTOR25. Dieses Element ist als Punktobjekt erfasst worden. Der Verlauf in Abbildung 8.11 folgt nicht einem linearen Wachstum, sondern eher einem exponentiellen. Die Werte steigen mit zunehmender Pufferdistanz stärker an. Die Zunahme erfolgt nach einer konstanten Steigerung, nicht nach konstanten Werten. Die Pufferung mit der euklidischen Distanz stellt die höchsten Werte auf, was die Erwartung bestätigt. Diejenige Pufferung mit der Kostenentfernung über die Oberfläche (Path Distance 3D) weist stets die tiefsten Werte auf. Die absoluten Flächenunterschiede steigen mit zunehmender Pufferdistanz deutlich an.

8.2.2 Gesamtmodell

Das Gesamtmodell von Ryffel (2008) schätzt das Potential möglicher Nistplätze für Bartgeier ab. Die Modellierung geschieht mit Hilfe zweier kleinerer Potentiale - dem Eignungs- und dem Störpotential. Da nur das Störpotential von der Pufferung Gebrauch macht, wird nur dieses weiter berücksichtigt. Einen Ausschnitte der Pufferfläche enthält Abbildungen 8.12. Dabei stellt die dunkle oberste Fläche das

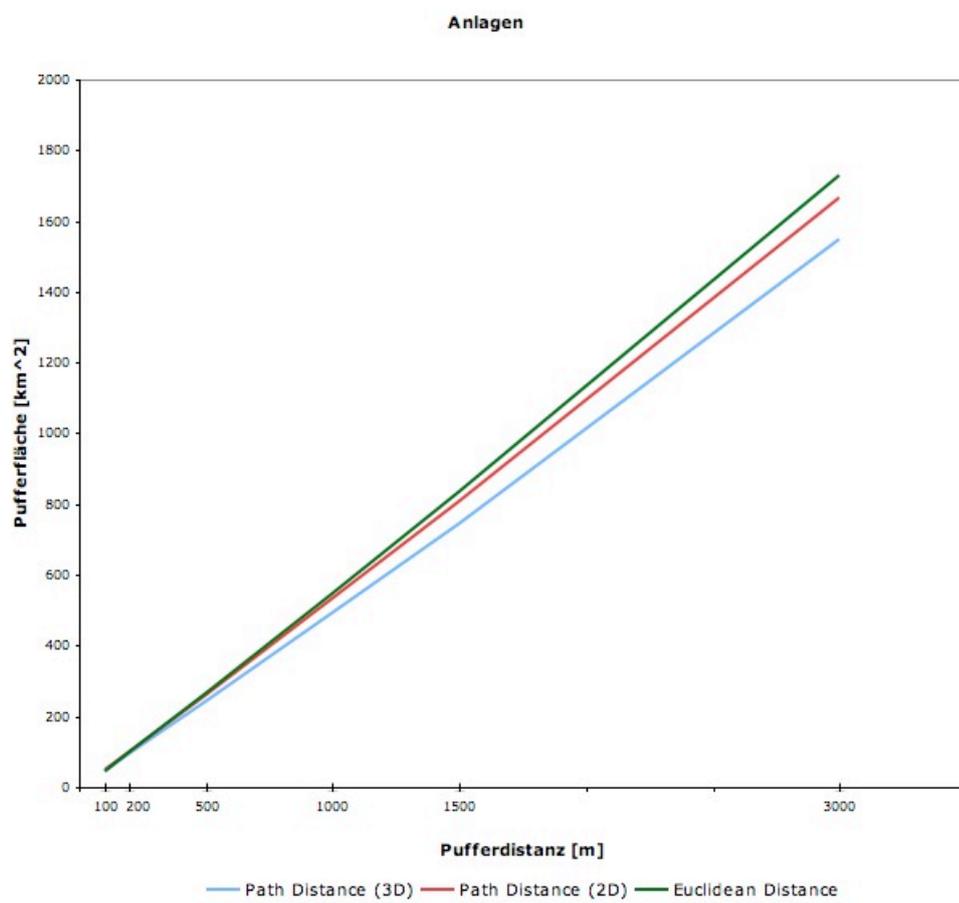


Abbildung 8.9: Einfluss der Pufferdistanz beim Kriterium Anlagen

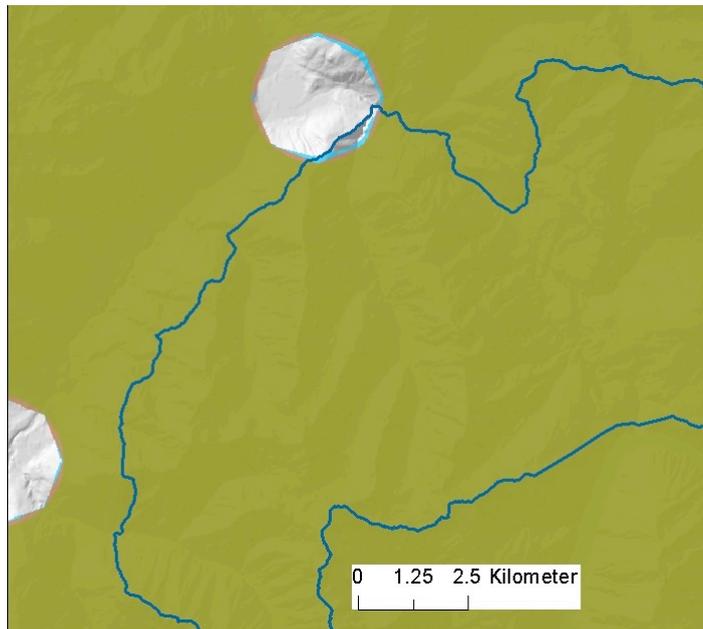


Abbildung 8.10: Ausschnitt aus der Pufferfläche des Kriteriums Lärm, Pufferdistanz: 1'500 Meter

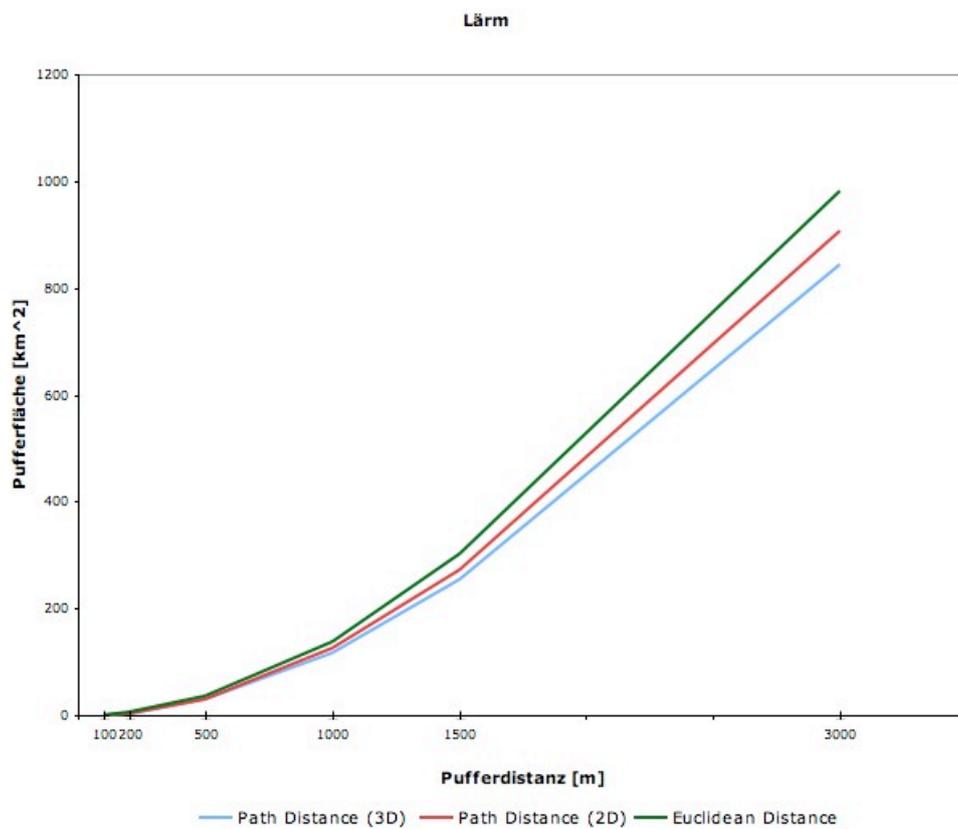


Abbildung 8.11: Einfluss der Pufferdistanz beim Kriterium Lärm

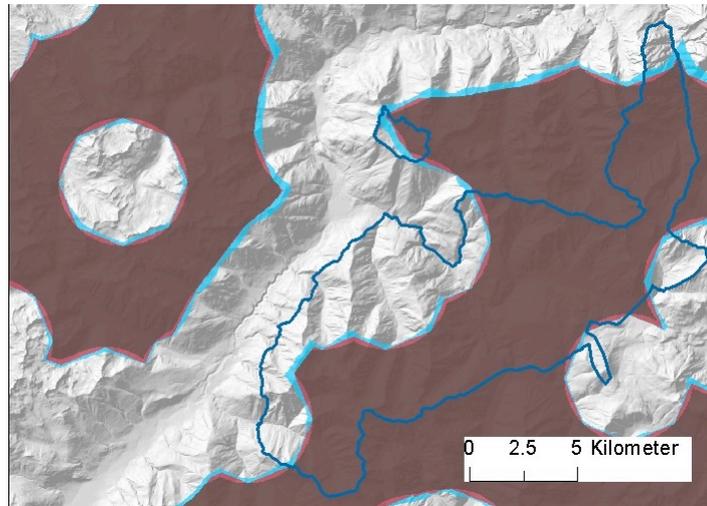


Abbildung 8.12: Ausschnitt aus der Pufferfläche des Störpotentials, Pufferdistanz: 3'000 Meter

Resultat der euklidischen Methode dar. Die rote Fläche ist die 2D-Pufferung der Funktion Path Distance und die blaue die Methode Path Distance 3D. Das Störpotential wird als Fläche ausgegeben, die nicht durch Störungen beeinflusst wird und damit gute Eigenschaften für Bartgeier besitzt. Aus diesem Grund nimmt diese Kurve nicht zu, sondern ab. Je grösser die gepufferte Fläche der Störungen ist, desto kleiner wird das potentielle Gebiet. Die Kurven in Abbildung 8.13 folgen einer eher linearen Zunahme. Die Flächenminderung geschieht fast konstant. Dabei ist die Reihenfolge der drei Puffermethoden umgedreht. Dies entspricht der Erwartungshaltung, da die Pufferung mit euklidischer Distanz die grösste Pufferfläche ergibt und somit die kleinste Fläche, die nicht durch Störungen beeinflusst wird. Symmetrisch dazu verhalten sich auch die beiden anderen Kurven. Der absolute Flächenunterschied zwischen den Methoden steigt mit zunehmender Pufferdistanz sichtbar an. Bei Puffergrössen ab 1'500 Metern scheint die Kurve etwas abzuflachen. Die Potentialflächen für Störungen nehmen mit sehr grossen Pufferdistanze damit etwas weniger stark zu als bei kleineren.

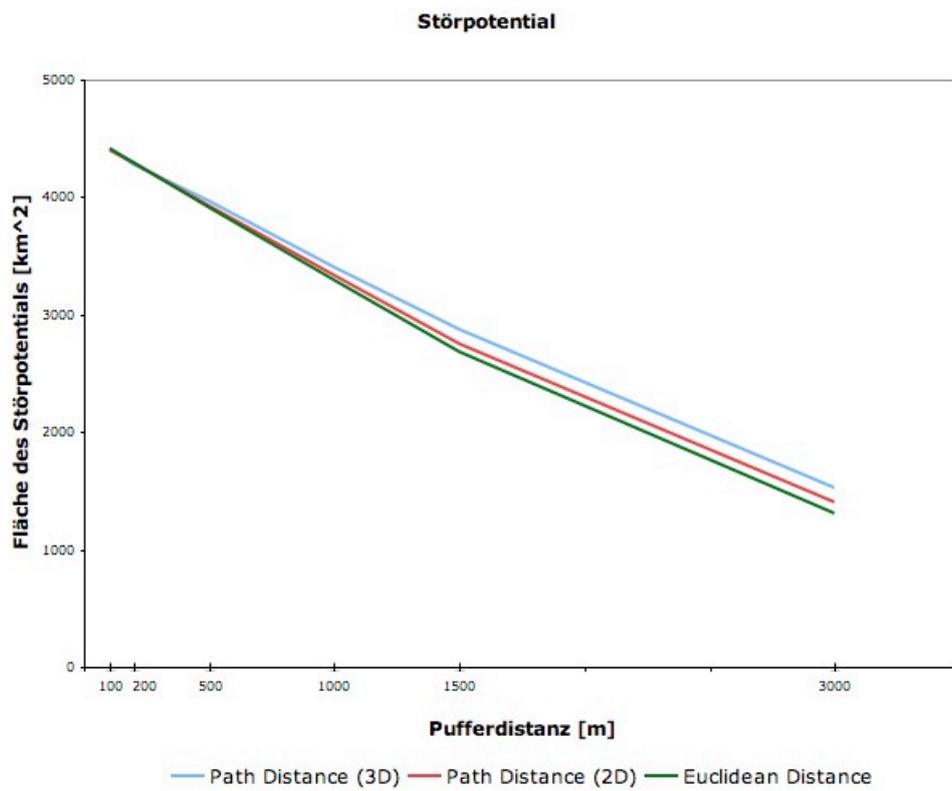


Abbildung 8.13: Einfluss der Pufferdistanz beim Störpotential

Kapitel 9

Diskussion

9.1 Einbezug des Geländecharakters

Hinter der Idee des Einbezugs des Geländecharakters liegt das übergeordnete Ziel einer höheren Genauigkeit in räumlichen Analysen. Im Prinzip ist dies eine sehr einfache Überlegung: Distanzen und Flächen werden über ein Höhenmodell gelegt. Komplexe Algorithmen bisheriger Anstrengungen zeigen, dass der Einbezug des Geländes nicht eine simple trigonometrische Funktion ist, sondern sehr aufwendige Implementationen verlangt. Ein Beispiel dafür sind die Kostenentfernungswerkzeuge von ArcGIS, welche in dieser Arbeit verwendet wurden. Die Anwendungsperformance dieser ist nicht trivial wie die der Funktion *Buffer*. Wie sich gezeigt hat, hält sich der Aufwand allerdings in überschaubaren Grenzen. Des Weiteren finden sich ausserhalb der ESRI-Gemeinde Leute, die sich damit beschäftigen. Diese wurden im Kapitel 2 bereits eingeführt (Tomlin, 2010; Li et al., 2005).

Der Einbezug eines Höhenmodells in räumlichen Analysen wird in wissenschaftlichen Kreisen nicht mit 3D bezeichnet, sondern mit 2.5D. Neben einer geländeabhängigen Oberfläche haben dreidimensionale Repräsentationen ein Volumen, das analysiert oder weiterverarbeitet werden kann. Diese Arbeit beschäftigt sich dagegen ausschliesslich mit der Oberfläche und kann darum nicht als 3D-Studie betitelt werden.

9.2 Einfluss des Geländecharakters

Der Einfluss des Geländecharakters wurde jeweils anhand der Variation zweier Parameter getestet. Vorerst wurde der Fokus auf einzelne Pufferobjekte gelegt um die Reaktionen im Einzelnen abzuschätzen. In Experiment 2 wurde das Hauptaugenmerk dann auf die Studie von Ryffel (2008) gelegt und somit der Effekt bei einer ökologischen Modellierung geprüft.

9.2.1 Auf Einzelne Pufferobjekte

Der Einbezug des Geländes bei einzelnen Pufferobjekten, wie Punkten und Linien, hat einen markanten Effekt. Die Flächenänderungen sind vergleichbar mit denen der Vorstudie. Die Flächenwerte der euklidischen Pufferung und der Pufferung mit Path Distance 3D unterscheiden sich um mehr als 20 Prozent. Die Differenz innerhalb der Funktion Path Distance ist nur etwa halb so gross. Da hier die Fläche mit demselben Algorithmus berechnet wird, lässt Letzteres doch auf einen Einfluss schliessen, der nicht vernachlässigt werden darf.

Die Werte von kleinen Pufferdistanzen sind etwas problematisch auszuwerten. Vielfach stellt sich da das Problem, dass sich die Maschenweite des Rasters und die Pufferdistanz zu nah beieinander befinden und deshalb nur sehr ungenau gepuffert werden kann. Zudem wurde die Flächenberechnung jeweils mit dem Werkzeug Surface Volume (siehe Kapitel 3) getätigt. Von diesem ist bekannt, dass aufgrund des Aufbaus jeweils am Rand eine halbe Zelle nicht berücksichtigt wird. Was bei grösseren Pufferdistanzen kaum Einfluss auf die Berechnung hat, wirkt sich bei kleineren, die zum Beispiel nur 4 Zellen breit sind, sehr stark aus. Dies könnte bei einer 100-Meter-Pufferdistanz und einer Auflösung des Höhenmodells von 50 Metern der Fall sein.

Auflösung

Wie sich in den Abbildungen 8.2 und 8.3 zeigt, hat die Auflösung des Rasters sowohl beim euklidischen Puffer, als auch bei der Pufferung mit der Kostenentfernung, keinen grossen Effekt. Bei kleinen Pufferdistanzen ist dieser noch etwas ausgeprägter als bei grösseren. In den Bereichen von grobmaschigeren Auflösungen kommt es zu einem Absinken der Kurve. Dies kommt daher, da kleine Puffergrössen von weiten Zellgrössen nicht genügend genau repräsentiert werden können. Dieser ungewollte Effekt stabilisiert sich mit zunehmender Pufferdistanz, bis er schliesslich kaum mehr erkennbar ist.

In Abbildung 8.3 taucht zudem ein neuer Effekt auf. Einmalig kommt die rote über die grüne Linie zu liegen. Dies dürfte aus logischer Sicht nicht vorkommen, da Euclidean Distance einen Kreis abbildet und Path Distance 2D ein Achteck mit einer grossen Diagonalen des Kreisradius beschreibt. Die Fläche des Achtecks sollte damit immer kleiner sein als diejenige des Kreises. In diesem Fall könnte das auf einen weiteren Effekt der Rastergrösse hindeuten, zumal er auch bei grösseren Auflösungen auftritt. Der Schnittpunkt der beiden Linien verschiebt sich mit zunehmender Pufferdistanz nach rechts und verschwindet schliesslich. Dass bei kleinen Puffergrössen die grüne und die blaue Linie sehr nahe beisammen liegen, deutet darauf hin, dass das Gelände eher flach ist und dass auf das Einwirken der Topographie noch keine Schlüsse gezogen werden können. Erst wenn sich die Talflanken in den Wirkungsbereich der Pufferdistanz gelangen, ist dies möglich.

Pufferdistanz

Die Plots der Abhängigkeit der Pufferdistanz in den Abbildungen 8.4 und 8.5 folgen klar keiner Horizontalen mehr, wie bei der Auflösung. Die Pufferdistanz hat intuitiv einen grossen Einfluss auf die Pufferfläche. Je grösser die Pufferdistanz gewählt wird desto grösser wird auch die Fläche. Wie im Kapitel 8 beschrieben folgt diese Entwicklung nicht einem linearen Zusammenhang sondern eher einem exponentiellen. Dabei ist die Steigerung bei Punktobjekten stärker als bei Linienobjekten. Die Entwicklung ist somit schwach abhängig von der Objektart. Um Punktobjekte wird annähernd eine Kreisfläche beschrieben, welche quadratisch abhängig vom Kreisradius ist. Die Wirkung dieser Abhängigkeit ist in der Kurve abgebildet. Sie steigt mit zunehmender Pufferdistanz stärker an. Linienobjekte werden von der Kreisfläche weniger beeinflusst, da sie nur am Anfang und am Ende eine Halbkreisfläche als Puffer benötigen und zwischen drin durch Rechteckflächen bestimmt werden. Dies führt zu einer eher gleichmässigeren Zunahme, die sich einem linearen Wachstum annähert.

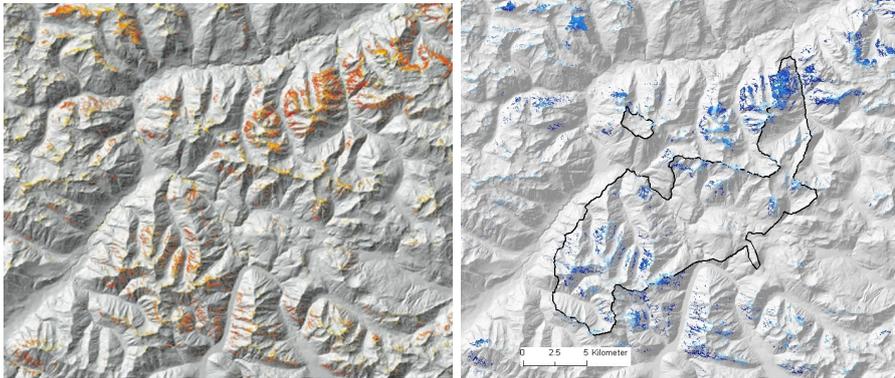


Abbildung 9.1: Vergleich der Nistplatzpotentiale von Ryffel (2008) und der Reproduktion (deckungsleiche Abschnitte)

9.2.2 Auf Eignungsanalyse

Der Einbezug des Höhenmodells (DHM25) in der Studie von Ryffel (2008) zeigt einen deutlichen Effekt. Die Flächenänderungen sind vergleichbar mit denen von einzelnen Pufferobjekten, aber in der Tendenz etwa um die Hälfte kleiner. Mit durchschnittlich 10 Prozent unterscheiden sich die Flächenwerte von der euklidischen Pufferung und der Pufferung mit Path Distance 3D. Der Faktor Lärm weist dabei die höchsten Änderungsraten auf, da es sich dabei um ein Kriterium handelt, dass nur aus Punktobjekten besteht. Die beiden anderen Faktoren weisen die selben Änderungsraten auf. Weit weniger sensitiv reagiert schliesslich das Störpotential auf den Geländecharakter. Mit fast 7 Prozent Änderung ist dies aber dennoch nennenswert und nicht zu vernachlässigen. Die Minderung in der Änderung gegenüber den einzelnen Kriterien lässt sich dadurch erklären, dass sich einige Pufferflächen stark überlappen. Die Unterschiede innerhalb der Funktion Path Distance sind etwas weniger stark, aber nicht weniger nennenswert, da sie sich immer noch in einem relativ hohen Bereich aufhalten. Das Störpotential unterscheidet sich um 2.2 Prozent. Die Flächenänderung bei den Kriterien scheint sich im selben Bereich aufzuhalten. Nur beim Faktor Lärm ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Dieser ist deutlich tiefer beim Vergleich innerhalb der Funktion - 5 Prozent (Unterschied innerhalb Path Distance) statt 15 Prozent (Unterschied Euclidean Distance zu Path Distance 3D). Dies bedeutet, dass der Einfluss bei Punktobjekten stärker ist. Dies gleicht sich mit der Erwartung, da die Unterschiede, die aufgrund der 8er-Nachbarschaft entstehen, bei Kreisflächen markanter sind als bei Linienobjekten.

Übereinstimmung mit Ryffel (2008)

Abbildung 9.1 soll die Übereinstimmung mit der Studie von Ryffel (2008) bestätigen. Dies geschieht mithilfe eines Vergleichs eines Ausschnittes, der im Bericht aufgeführt ist. Links befindet sich der Ausschnitt aus der Studie von Ryffel (2008) und auf der rechten Seite ist der entsprechende Ausschnitt aus der Reproduktion abgebildet. Die beiden Potentiale für mögliche Nistplätze scheinen sich visuell zu gleichen. Daraus lässt sich schliessen, dass die Reproduktion etwa diesselben Resultate wie ihre Vorlage liefert.

Kriterien

Die Entwicklungen der Kriterien für die Studie von Ryffel (2008) folgen den zuvor gemachten Beobachtungen. Das Kriterium Lärm geht von Punktobjekten aus und folgt einem Wachstum, das demjenigen eines einzelnen Punktobjektes gleicht. Es erfolgt eine Steigerung der Flächenzunahme mit zunehmender Pufferdistanz. Der Faktor Anlagen besteht aus lauter Linienobjekten. Wie zu beobachten ist, folgt dieser einer praktisch linearen Zunahme. Die Pufferfläche ändert sich gleichmässig mit der Pufferdistanz. Dies entspricht der Schlussfolgerung für einzelne Linienobjekte. Der Kreisflächeneinfluss der Anfangs- und Endpunkte scheint komplett aufgehoben zu sein. Das Merkmal Tourismus besteht aus beiden Objektarten. Im entsprechenden Plot 8.7 ist eine leichte Steigerung der Zunahme festzustellen. Aber dennoch gleicht die Entwicklung eher einem linearen Verlauf. Dies könnte darauf schliessen lassen, dass Linien- gegenüber Punktobjekten in den Flächen überwiegen.

Da Experiment 1 gezeigt hat, dass die Auflösung nur sehr beschränkten Einfluss hat, wurde in Experiment 2 auf eine Untersuchung bei der Eignungsanalyse verzichtet.

Überdenkt werden sollte die weitere Entwicklung dieser Kurven. Erwartungsgemäss müssten diese Kurven irgendwann am Limit sein und das Wachstum abbrechen. Im Extremfall einer sehr grossen Pufferdistanz wäre die ganze Untersuchungsfläche gepuffert. In einem Zwischenfall würden die Pufferflächen zusammenwachsen und die Zunahme damit etwas abbremsen.

Gesamtmodell

Die Fläche des Störpotentials nimmt in Abbildung 8.13 zuerst stärker ab und flacht bei Puffergrössen von ca. 1'500 Metern etwas ab. Dies hat den Grund, dass sich mit diesen Puffergrössen weite Teile der Pufferflächen über das Untersuchungsgebiet hinaus erstrecken und darum nicht mehr berücksichtigt werden. Die Zunahme erfolgt darum nicht mehr gar so stark. Die Kurven gleichen hier praktisch einem linearen Verlauf. Dies lässt darauf schliessen, dass die Puffer der Linienobjekte in dieser Analyse überwiegen.

9.3 Evaluation Nachbarschaftsbeziehungen

Der Algorithmus der Funktion Path Distance arbeitet mit Nachbarschaften, die 8 Nachbarzellen miteinbeziehen. Der Effekt, der daraus resultiert, zeigt, dass eine Fläche maximalen Abstandes zu einem Punkt nicht als Kreis wiedergegeben wird, sondern als Achteck. Vor allem beim Puffern von Punktobjekten hat diese Nachbarschaftsbeziehung einen markanten Einfluss. Bei Pufferung von Linienobjekten, die sehr lange Distanzen überwinden, scheint der Effekt etwas nachzulassen. Dies, weil nicht mehr Kreise abgebildet werden, sondern eher Rechtecksflächen. Um den Einfluss der Nachbarschaftsbeziehung etwas zu reduzieren, wurde nicht nur die euklidische Pufferung mit der Kostenentfernungspufferung über ein Höhenmodell (Path Distance 3D) verglichen, sondern auch mit der Kostenentfernungspufferung über eine homogene Ebene (Path Distance 2D).

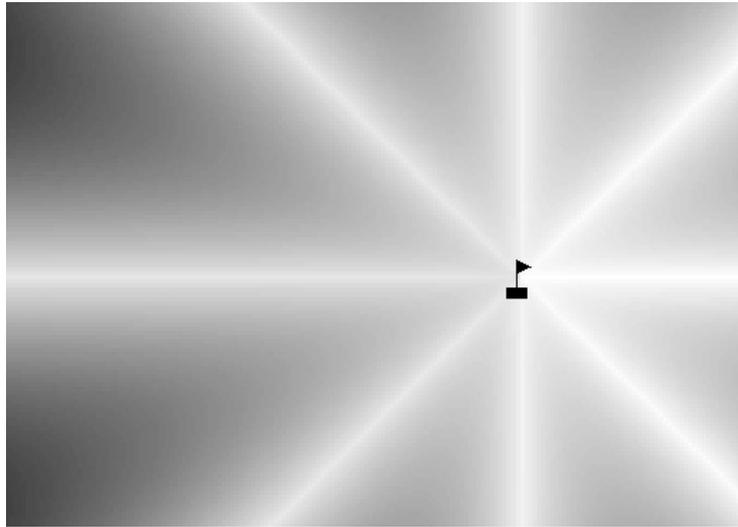


Abbildung 9.2: Differenzbild zwischen einem euklidischen Puffer und einem Puffer, der mit Path Distance 2D erstellt wurde. (weiss: geringer Unterschied; schwarz: grosser Unterschied)

9.4 Weitere Möglichkeiten der Puffergenerierung auf Oberflächen

Weitere Möglichkeiten zur Puffergenerierung auf Oberflächen zeigen Li et al. (2005) und Tomlin (2010). Während der erste Autor eine Verbesserung des bestehenden Kostenentfernungsalgorithmus vorschlägt, propagiert Letzterer eine neue Entwicklung. Der grosse und entscheidende Unterschied dürfte die Verwendung der 8er-Nachbarschaft sein. Tomlin (2010) hält fest, dass diese sehr häufig zu einer Überschätzung der Reisekosten führt und stellt eine neu entwickelte Methode vor um dieses Problem zu lösen. Abbildung 9.3 soll den Unterschied nochmals verdeutlichen. Links wird dabei in einer 8er-Nachbarschaft operiert, wobei die Strecken zu bestimmten Punkten deutlich überschätzt werden. Rechts wird mit einer radialen Wellenfront gearbeitet, welche eine direktere Verbindung zwischen den Zellen erlaubt. Die weissen gepunkteten Linien gelten als Beispiele um den Einfluss zu vergleichen. Sie repräsentieren die entsprechenden Strecken. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass Tomlin (2010) für den entwickelten Algorithmus eine Implementation in Python an seinen Artikel angehängt hat.

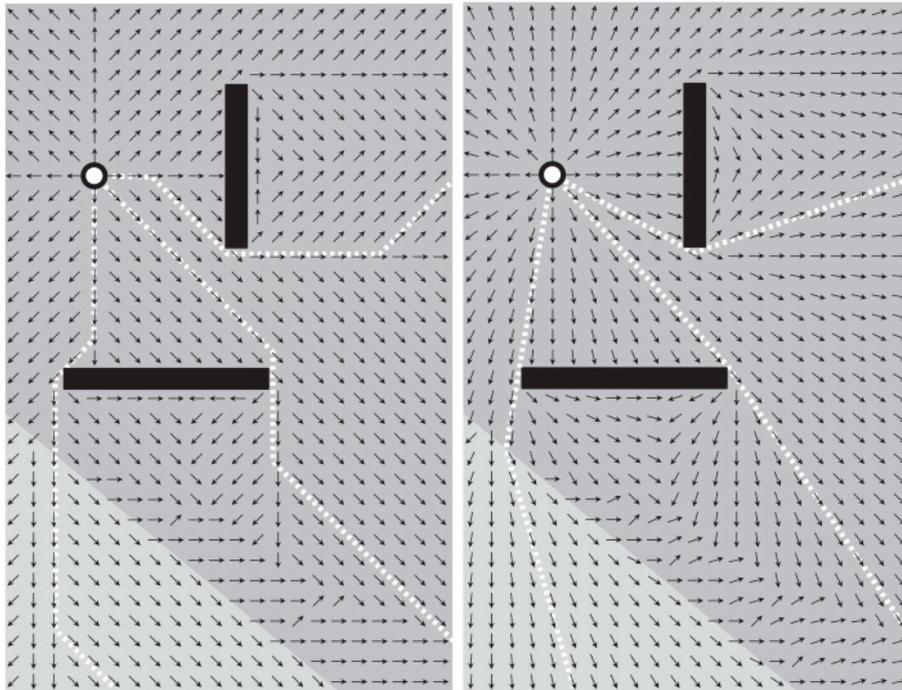


Abbildung 9.3: Vergleich zwischen Algorithmus mit 8er-Nachbarschaft (links) und dem Algorithmus Tomlin (2011), Quelle: Tomlin (2011)

Kapitel 10

Schlussfolgerung

10.1 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Studie von Ryffel (2008), die als Beispiel einer ökologischen Modellierung verwendet wurde, komplett auf einer Oberfläche durchgeführt. Während die ursprüngliche Studie sich vielfach der Vektormethode *Buffer* bediente, wird hier als Alternative vorgeschlagen mit Kostenentfernungsalgorithmen in der Rasterumgebung zu rechnen. Diese besitzt den Vorteil, dass die Kosten zu Distanzen zwischen den einzelnen Zellen umgerechnet werden können und somit Oberflächendistanzbestimmungen ermöglicht werden. Sie werden aber stark von ihrer Nachbarschaftsbeziehung beeinflusst. Bereits die Vorstudie im SNP macht auf die Auswirkungen des Geländeeinbezugs aufmerksam. Mit der alternativen Lösung zur Studie von Ryffel (2008) wurde der Geländecharakter miteinbezogen und der Einfluss dessen ausgewertet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ökologische Studien, wie diejenige von Ryffel (2008) sensitiv auf den Geländecharakter reagieren. Obwohl wir das Wissen davon haben, werden solche Eignungsanalysen selten komplett in 2.5D durchgerechnet. Diese Arbeit hat den Einfluss dieses Einbezuges quantitativ ermittelt und zeigt, dass dieser nicht vernachlässigt werden sollte.

10.2 Erkenntnisse

Mithilfe der Literatur hat diese Arbeit ermittelt, dass wohl 3D in geographischen wie auch nicht-geographischen Branchen bereits extensiv genutzt wird, die Einsatzmöglichkeiten der dritten Dimension aber beschränkt sind. So ist 3D vor allem in den Bereichen der Datenpräsentation und der Datenstrukturierung ein vielumworfenes Thema. Im Bereich von räumlichen Analysen, wie ökologischen Modellierungen, ist der Schritt von 2D auf 3D nicht oft skizziert worden. Gerade bei Analysen, die die Geländeeigenschaften miteinbeziehen, ist die Betrachtung zumindest in 2.5D äußerst entscheidend. Klar ist, dass bereits heute in häufig genutzten GIS-Umgebungen einige Funktionen das Gelände in Form eines Höhenmodells miteinbeziehen. Doch wenn es um das Messen von Distanzen geht, beschränken sie sich hauptsächlich auf die Projektion in 2D.

Diese Arbeit hat gezeigt, dass es mit heutigen GIS möglich ist, ökologische Modellierungen auf der Oberfläche durchzuführen. Als Beispiel dafür wurde der Fokus auf die Studie von Ryffel (2008) gelegt, in der die Puffergenerierung eine wichtige Analysefunktion ist. Als alternative Lösung wurde die Kostenentfernungsfunktion *Path Distance* vorgeschlagen, mit deren Hilfe die Studie neu durchgeführt wurde. Der gewünschte Output wurde mithilfe von Flächenberechnungen getätigt. Die Resultate zeigen, dass die Einfluss nicht vernachlässigt werden sollten. Die Pufferdistanz ist

dabei ein stark beeinflussender Faktor. Hingegen spielt die Auflösung des Höhenmodells dabei eine unwesentliche Rolle. Vorsicht geboten ist bei der verwendeten Alternativlösung. Sie ist stark beeinflusst von ihrer Nachbarschaftsbeziehung, die zu einer Unterschätzung von Distanzen führen kann. Aus diesem Grund wurden hier noch zwei weitere Ansätze vorgestellt, die es ermöglichen, Puffer auf Oberflächen zu generieren. Dabei werden Punktobjekte deutlich mehr beeinflusst als Linienobjekte. Diese Arbeit konnte schliesslich zeigen, mit welchen Methoden eine Einbeziehung des Geländecharakters möglich ist und welchen Einfluss dieser auf räumliche Analysen hat.

10.3 Ausblick

Diese Arbeit wirft mit der Beantwortung der Forschungsfragen viele neue Fragen auf, mit der sich die weitere Forschung beschäftigen sollte. Zumal sich diese Arbeit auf Pufferung innerhalb der Umgebung von ArcGIS konzentriert, sollte sich die zukünftige Forschung auf Alternativen ausserhalb traditioneller GIS wenden. Diese könnten womöglich entscheidende Ideen liefern um die Pufferung auf Oberflächen zu ermöglichen. Besonders die Genauigkeit der Distanzmessung sollte verbessert werden, damit der Effekt der 8er-Nachbarschaft reduziert werden kann. Einen ersten bedeutenden Ansatz liefert Tomlin (2010). Ein weiterer empfehlenswerter Schritt wäre deshalb das Implementieren und Testen dieses Algorithmus. Der Einbau in eine ökologische Studie und das erneute Abschätzen des Einflusses des Geländecharakters wären notwendige Schritte, um Vergleiche zu ziehen. Weitere Vergleiche würden zudem in der Objektart anfallen. Haben andere Methoden ebenfalls unterschiedliche Einflüsse auf Punkt- und Linienobjekte? Um bei grösseren Pufferdistanzen die Genauigkeit zu gewährleisten, wäre interessant zu wissen, wie die Auswirkungen bei einer Änderung des Bezugssystems, z.B. dem Geoid, aussehen würden. Doch da bleibt die Frage, ob sich überhaupt Anwendungen finden lassen, die extreme Puffergrössen verlangen, welche vom Geoid beeinflusst werden.

Ein weiterer Schritt ist die Überlegung, ob die vorgestellten Methoden im Alltag eines GIS-Anwenders implementierbar sind. Bislang verlangt eine Pufferung auf der Oberfläche doch einige Schritte mehr als bei einer herkömmlichen 2D-Pufferung. Besonders die Implementation eines neuen Algorithmus' braucht bedeutend mehr Arbeitszeit. Das Ziel sollte deshalb sein, solche Werkzeuge direkt in geographische Informationssysteme einzubauen und zur Verfügung zu stellen.

Eine nicht uninteressante Frage stellt sich nach anderen Anwendungen. In dieser Arbeit wurde aufgrund der ausgewählten Fallstudie nur die Pufferung betrachtet. Wie sieht dies aus, wenn andere Distanzmethoden in einer Studie auftauchen? Ein konkretes Beispiel dafür wären Home-Range-Analysen, die Gebrauch von der *Kernel Density Estimation* (KDE) machen. Die KDE misst entsprechend zur Pufferung Distanzen ab, welche im Falle des Einbezugs des Geländecharakters sensitiv reagieren würden. Abbildung 10.1 verdeutlicht eine KDE mit Suchradius.

Ein interessanter Aspekt wäre letztlich die Topographie in die Analyse miteinzubeziehen. Im Hinblick auf Eignungsanalysen bedeutet dies beispielsweise, unüberwindbare Hindernisse zu detektieren und diese in Aussagen zu geeigneten Habitaten zu integrieren. Natürliche Barrieren könnten steile Felskanten, hohe Gebirgskämme oder grosse Flüsse sein.

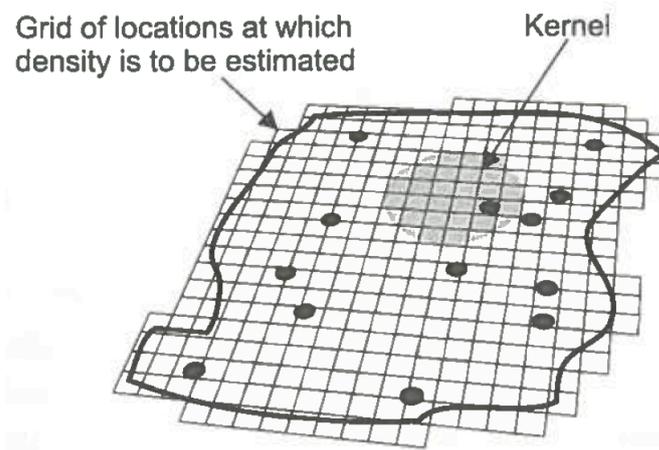


Abbildung 10.1: Beispieler einer Kernel Density Estimation, Quelle: O'Sullivan and Unwin (2003)

Literaturverzeichnis

- Allgöwer, B. and Haller, R., editors (1998). *Monitoring the Bearded Vulture with GIS*. Council of Europe.
- ArcGIS Help (2014). ArcGIS-Hilfebibliothek: ArcGIS Ressource Center.
- Aronoff, S. (1989). Geographic information systems: A management perspective. *Geocarto International*, 4(4):58.
- Atlas der Schweiz (2014). Atlas der Schweiz.
- Barnes, S. (2002). river buffer rules face opposition from property rights advocates. *Watauga Mountain Times*, page 14.
- Burrough, P. A. and McDonnell, R. (1998). *Principles of geographical information systems*. Oxford university press Oxford.
- Carlson, E., editor (1987). *Three-dimensional conceptual modeling of subsurface structures*.
- Chrisman, N. (1997). *Exploring geographic information systems*. New York: John Wiley and Sons, New York.
- Dettmers, R. and Bart, J. (1999). A GIS modeling method applied to predicting forest songbird habitat. *Ecological Applications*, 9(1):152–163.
- Donázar, J. A., Hiraldo, F., and Bustamante, J. (1993). Factors influencing nest site selection, breeding density and breeding success in the bearded vulture (*Gypaetus barbatus*). *Journal of Applied Ecology*, pages 504–514.
- Ellul, C. and Haklay, M. (2006). Requirements for Topology in 3D GIS. *Transactions in GIS*, 10(2):157–175.
- Faeth, A., Oren, M., and Harding, C. (2008). Combining 3-D geovisualization with force feedback driven user interaction. In *Proceedings of the 16th ACM SIGSPATIAL international conference on Advances in geographic information systems*, pages 1–9. ACM, Irvine and California.
- Gavashelishvili, A. and McGrady, M. J. (2006). Breeding site selection by bearded vulture (*Gypaetus barbatus*) and Eurasian griffon (*Gyps fulvus*) in the Caucasus. *Animal Conservation*, 9(2):159–170.
- Grinstein, R. (2003). A real world experiment in 3D cadastre. *GIM International*, 17(9):65–70.
- Gross, M. H. (1998). Computer graphics in medicine: from visualization to surgery simulation. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 32(1):53–56.

- Haller, R. (01.01.1996). *Homerange- und Habitatanalysen: Entwicklung von Methoden zur Nutzung von Geographischen Informationssystemen in der Wildforschung*. PhD thesis, Universität Zürich, Zürich.
- Haller, R. and Allgöwer, B. (1996). Homerange- und Habitatanalysen :Unterstützung von Wildtierforschungsmethoden mit GIS. *Geoprocessing Series, Universität Zürich*, (31):61–66.
- Hirzel, A. H., Posse, B., OGGIER, P.-A., Crettenand, Y., Glenz, C., and Arlettaz, R. (2004). Ecological requirements of reintroduced species and the implications for release policy: the case of the bearded vulture. *Journal of Applied Ecology*, 41(6):1103–1116.
- Kalra, P., Beylot, P., Gingins, P., Magnenat-Thalman, N., Volino, P., Hoffmeyer, P., Fasel, J., and Terrier, F. (1995). Topological modeling of human anatomy using medical data. In *Computer Animation '95., Proceedings : Computer Animation '95., Proceedings : Computer Animation '95., Proceedings*, pages 172–180, 218.
- Kwan, M.-P. and Lee, J. (2005). Emergency response after 9/11: the potential of real-time 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(2):93–113.
- Ladner, R., Abdelguerfi, M., Wilson, R., Breckenridge, J., McCreedy, F., and Shaw, K. (2001). A Framework for Databasing 3D Synthetic Environment Data. In Mayr, H., Lazansky, J., Quirchmayr, G., and Vogel, P., editors, *Database and Expert Systems Applications*, volume 2113 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 432–441. Springer Berlin Heidelberg.
- Li, X., Larson, C. M., and Rex, A. B. (2005). Creating Buffers on Surfaces. *Cartography and Geographic Information Science*, 32(3):195–212.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. John Wiley & Sons.
- Martin, A. C. R. (2000). The ups and downs of protein topology; rapid comparison of protein structure. *Protein Engineering*, 13(12):829–837.
- Nebiker, S. (2003). Support for visualisation and animation in a scalable 3D GIS environment: motivation, concepts and implementation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34:5.
- O’Sullivan, D. and Unwin, D. J. (2003). *Geographic information analysis*. John Wiley & Sons.
- Penninga, F. and van Oosterom, P. J. M. (2008). A simplicial complex-based DBMS approach to 3D topographic data modelling. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(7):751–779.
- Philips, J. (1989). Effect of Buffer Zones on Estuarine and Riparian Land Use in Eastern North Carolina. *Southeastern Geographer*, (29 (2)):136–149.
- Robin, K., Müller, J., and Pachilatko, T. (2003). *Der Bartgeier*. Robin Habitat AG, Uznach, Uznach.
- Ruzinoor, C. M., Shariff, A. R. M., Pradhan, B., Rodzi Ahmad, M., and Rahim, M. S. M. (2012). A review on 3D terrain visualization of GIS data: techniques and software. *Geo-spatial Information Science*, 15(2):105–115.
- Ryffel, A. (April/2008). *Der Knochenbrecher kehrt zurück: Charakterisierung und Modellierung von Bartgeier-Lebensräumen in den Schweizer Alpen*. PhD thesis, University of Zurich, Zürich.

- Santos, X., Brito, J. C., Sillero, N., Pleguezuelos, J. M., Llorente, G. A., Fahd, S., and Parellada, X. (2006). Inferring habitat-suitability areas with ecological modelling techniques and GIS: A contribution to assess the conservation status of *Vipera latastei*. *Biological Conservation*, 130(3):416–425.
- Schweizer Nationalpark. Schweizer Nationalpark.
- Seipel, S. (2012). Evaluating 2D and 3D geovisualisations for basic spatial assessment. *Behaviour & Information Technology*, pages 1–14.
- Shepherd, I. D. H. (2008). Travails in the third dimension: a critical evaluation of three-dimensional geographical visualization. *M. Dodge, M. McDerby and M. Turner, eds. Geographic visualization - concepts, tools and applications.*
- Spikins, P., Conneller, C., Ayestaran, H., and Scaife, B. (2002). GIS Based Interpolation Applied to Distinguishing Occupation Phases of Early Prehistoric Sites. *Journal of Archaeological Science*, 29(11):1235–1245.
- Stadt Zürich. 3D-Stadtmodell.
- Store, R. and Jokimäki, J. (2003). A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. *Ecological Modelling*, 169(1):1–15.
- Stoter, J. and Salzmann, M. (2003). Towards a 3D cadastre: where do cadastral needs and technical possibilities meet? *3D Cadastres*, 27(4):395–410.
- Swiss Parks Network (2014). PARCS Protected Areas Research Center for Spatial Information.
- Swisstopo (2014). Bundesamt für Landestopographie.
- Takino, S., editor (2000). *Topological network model for improving urban 3D data use*. Citeseer.
- Tomlin, D. (2010). Propagating radial waves of travel cost in a grid. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(9):1391–1413.
- Yu, L.-J., Sun, D.-F., Peng, Z.-R., and Zhang, J. (2012). A Hybrid System of Expanding 2D GIS into 3D Space. *Cartography and Geographic Information Science*, 39(3):140–153.
- Zlatanova, S., Rahman, A. A., and Pilouk, M. (2002). Trends in 3D GIS Development. *Journal of Geospatial Engineering*, 4(2):71–80.

Eigenständigkeitserklärung

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.

Balgach, 30. April 2014

Pascal Bürki