



Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

Einfluss der Klimaveränderung auf die Biodiversität der Tagfalter im Alpenraum

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Landschaftsarchitektur (FH)

Simone Graute

u1316, UNIGIS MSc Jahrgang 2007

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:

Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Basel, 10. August 2009

Erklärung:

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Basel, 10. August 2009

Simone Graute

Zusammenfassung

Das Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM) erfasst seit 2003 die Artenvielfalt der Tagfalter auf einem schweizweiten Messnetz, welches aus einem systematischen Stichprobenraster besteht. Das Ziel der Arbeit ist die Berechnung von flächigen Verbreitungsprognosen der Tagfalterdiversität im Schweizer Alpenraum auf Grundlage der bestehenden Tagfalterdaten vom BDM. Es wurde untersucht, ob die Tagfalterdiversität im Alpenraum anhand von vorhandenen klimatischen, topografischen und landschaftlichen Variablen erklärt werden kann. Aufbauend auf den Verbreitungsprognosen wurden bestehende Klimaszenarien angewendet, um Auswirkungen auf die Tagfalterdiversität zu prognostizieren.

Für die Habitatmodellierung wurden Regressionsanalysen in Form von *Generalisierten Linearen Modellen* (GLM) durchgeführt. Die Modellierung erfolgte für zwei verschiedene Tagfaltergruppen: a) Für Arten der Trockenwiesen und –weiden und b) für die Gattung der Erebien (Mohrenfalter).

Begleitet wurden die Modellierungen durch verschiedene statistische Güteüberprüfungen, die einen wichtigen Teil der Arbeit darstellen. Neben Residuenanalysen wurden eine interne und externe Validierung durchgeführt. Die interne Validierung erfolgte durch eine 10-fache Kreuzvalidierung. Bei der externen Validierung wurde anhand eines zweiten Datensatzes geprüft, ob die Modelle in zeitlicher Hinsicht übertragbar sind. Anhand des Moran's und des Geary's Indexes fand eine Überprüfung von räumlichen Autokorrelationen anhand der Residuen statt.

Die Prognosen der räumlichen Verteilungen der Artenanzahlen für beide Tagfaltergruppen zeigen deutliche Gebiete, in denen mit einer hohen bzw. niedrigen Artenanzahl zu rechnen ist. Die tagfalterreichen Regionen decken sich auch mit Angaben aus der Literatur.

Der Ansatz zeigt wie systematisch aufgenommene Kartierungen Hotspots der Diversität aufzeigen können.

Abstract

The Biodiversity Monitoring in Switzerland (BDM) has been recording the diversity of butterflies since 2003. The BDM consists of a systematic sampling grid covering Switzerland. The goal of the thesis is to model, two dimensionally, the predicted distribution of butterfly diversity in the Swiss Alps based on existing BDM butterfly data. The study examined whether the alpine butterfly data can be explained by climatic, topographic and land-use variables. On top of this projection of butterfly dispersal, current climatic scenarios were applied, to make a prognosis of their effect on butterfly diversity.

Generalized Linear Models (GLM) were used to develop the model of butterfly diversity. The model was built for two different groups of butterflies: a) species from dry grasslands and pastures and b) the *Erebia* genus.

The modeling was accompanied by examinations of statistical quality, which represent an important part of the work. In addition to analysis of the residuals an internal and external validation was accomplished. For the internal validation a 10-fold cross validation was used. A second set of data from the BDM was used for the external validation, to test if the model can be applied to different time periods. The residual data were examined for spatial autocorrelations using Moran's and Geary's indexes.

The predicted spatial distribution of butterfly diversity for both butterfly groups shows distinct areas where a high or low number of species can be found. The butterfly-rich areas correspond with published data.

This thesis shows that systematic mapping of butterflies can identify hotspots of diversity.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Ziel der Arbeit.....	1
1.3	Struktur der Arbeit.....	2
1.4	Erwartetes Ergebnis.....	2
2	Literaturüberblick.....	4
2.1	Tagfalterarten und ihre Diversität im Schweizer Alpenraum.....	4
2.2	Habitatmodellierung.....	6
2.2.1	Ziele.....	6
2.2.2	Vorgehen.....	7
	a) Erstellung eines konzeptionellen Rahmens.....	7
	b) Festlegung der statistischen Methode.....	8
	c) Kalibrierung des Modells.....	9
	d) Erstellung der Gebietsprognose(-karten).....	10
	e) Evaluierung des Modells.....	10
3	Material und Methode.....	13
3.1	Untersuchungsgebiet.....	13
3.2	Tagfalterdaten.....	13
3.2.1	Arten der Trockenwiesen und -weiden (TWW-Arten) – Gruppe 1.....	15
3.2.2	Gattung der Erebien – Gruppe 2.....	16
3.3	Erklärende Variablen.....	16
3.3.1	Topographische Variablen.....	17
3.3.2	Klimatische Variablen.....	17
3.3.3	Variablen der Landbedeckung.....	17
3.3.4	Variablen der Biotope von nationaler Bedeutung.....	18
3.4	Klimaszenarien.....	18
3.5	Methode der Habitatmodellierung.....	19
3.5.1	Konzeptioneller Rahmen.....	19
3.5.2	Wahl der statistischen Methode.....	20
3.5.3	Kalibrierung und Evaluation des Modells.....	20
4	Technische Umsetzung.....	23
4.1	Aufbereitung der Daten.....	23
4.1.1	Tagfalterdaten.....	23
4.1.2	Erklärende Variablen.....	25
4.1.3	Klimaszenarien.....	28
4.2	Modellberechnung, inklusiv Kalibrierung.....	29
4.3	Erstellung der Prognosekarten.....	31
4.4	Evaluation der Synthesemodelle.....	32
5	Ergebnisse.....	34
5.1	Statistische Modellierung.....	34
5.1.1	Kalibrierung.....	35
5.1.2	Synthesemodelle.....	36
5.1.3	Evaluierung der Synthesemodelle.....	38
5.1.4	Schlussfolgerung der statistischen Modellierung.....	48
5.2	Karten der Tagfalterdiversität.....	48
5.3	Karten der Tagfalterdiversitätsveränderung (Zukunftsszenarien).....	51
6	Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick.....	54
6.1	Zusammenfassung.....	54
6.2	Diskussion.....	55
6.3	Ausblick.....	58
	Anhang.....	63

Abbildungsverzeichnis

1.1: Struktur und Arbeitsablauf der Arbeit.....	2
2.1: Hauptzonen der Tagfalter Zoogeographie mit den max. vorkommenden Artenanzahlen.....	5
2.2: Verteilung der Schmetterlingsarten nach den Höhenstufen	5
2.3: Lineare Funktion mit einer Normalverteilung	8
2.4: Lineare Funktion mit einer exponentiellen Verteilung	8
3.1: Karte Schweiz mit dem Untersuchungsgebiet (dk. grauer Bereich)	13
3.2: Messnetz zur Erfassung der Artenvielfalt in Landschaften.....	14
3.3: Schematische Darstellung einer Probefläche (1km ²), inkl. zu begehendem Transekt.	14
3.4: Vorgehen Modellierung der Tagfalterdiversitätskarte	20
4.1: Untersuchungsgebiet mit den Tagfalterquadraten TWW-Arten.	24
4.2: Untersuchungsgebiet mit den Tagfalterquadraten Erebien.	24
4.3: N/S Exposition.....	25
4.4: O/W Exposition	25
5.1: TWW-Arten, Kategorie Landbedeckung – «Residuals vs. Leverage»	35
5.2: Erebien, Kategorie Landbedeckung – «Residuals vs. Leverage»	35
5.3: TWW-Arten Synthesemodell – «Residuals vs. Fitted»	38
5.4: Erebien Synthesemodell – «Residuals vs. Fitted»	38
5.5: TWW-Arten Synthesemodell – «Normal Q-Q»	39
5.6: Erebien Synthesemodell – «Normal Q-Q»	39
5.7: TWW-Arten Synthesemodell – «Scale-Location».....	39
5.8: Erebien Synthesemodell – «Scale-Location».....	39
5.9: TWW-Arten Synthesemodell – «Residuals vs. Leverage».....	40
5.10: Erebien Synthesemodell – «Residuals vs. Leverage».....	40
5.11: TWW-Arten, Kategorie Klima – «Residuals vs. Leverage».....	41
5.12: TWW-Arten, Kategorie Landbedeckung – «Residuals vs. Leverage»	41
5.13: TWW-Arten, Kategorie wertvolle Biotop – «Residuals vs. Leverage»	41
5.14: Karte zur räumlichen Autokorrelation anhand der Residuen – TWW-Arten.....	47
5.15: Karte zur räumlichen Autokorrelation anhand der Residuen – Erebien	47
5.16: Verbreitungsszenarium der TWW-Artenanzahlen im Schweizer Alpenraum	49
5.17: Gebiet der überschrittenen prognostizierten TWW-Artenzahlen.....	50
5.18: Verbreitungsszenarium der Erebien Artenanzahlen im Schweizer Alpenraum	51
5.19: Voraussage der potentiellen Diversitätsveränderung TWW-Artenanzahl bis 2050.....	52
5.20: Voraussage der potentiellen Diversitätsveränderung Erebien bis 2050	53
5.21: Digitales Höhenmodell der Schweiz	53

A2.1: Scatterplotmatrix Topographie –TWW-Arten	67
A2.2: Scatterplotmatrix Topographie –Erbien	67
A2.3: Scatterplotmatrix Klima –TWW-Arten.....	68
A2.4: Scatterplotmatrix Klima –Erbien.....	68
A2.5: Scatterplotmatrix Landbedeckung –TWW-Arten	69
A2.6: Scatterplotmatrix Landbedeckung –Erbien	69
A2.7: Scatterplotmatrix wertvolle Biotop – TWW-Arten	70
A2.8: Scatterplotmatrix wertvolle Biotop –Erbien.....	70

Tabellenverzeichnis

3.1: Temperaturprognosen Schweiz bis 2050	18
3.2: Niederschlagsprognosen Schweiz bis 2050	18
4.1: Anzahl Untersuchungsquadrate pro Landschaftsvariable	27
4.2: Anzahl Untersuchungsquadrate pro Biototyp	28
4.3: Klimaszenarien für die Modellierung	28
5.1: AIC Wert der GLM Modelle nach Gruppe und Kategorie.....	34
5.2: Synthesemodell TWW-Arten.....	36
5.3: Synthesemodell Erbien.....	37
5.4: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten Topographie	42
5.5: GLM Modell externe Validierung Erbien Topographie.....	42
5.6: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten Klima	43
5.7: GLM Modell externe Validierung Erbien Klima	43
5.8: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten Landbedeckung.....	44
5.9: GLM Modell externe Validierung Erbien Landbedeckung.....	45
5.10: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten wertvolle Biotop.....	45
5.11: GLM Modell externe Validierung Erbien wertvolle Biotop.....	46
A1.1: Korrelationstabelle Topographie –TWW-Arten.....	64
A1.2: Korrelationstabelle Topographie –Erbien	64
A1.3: Korrelationstabelle Landbedeckung –TWW-Arten	64
A1.4: Korrelationstabelle Landbedeckung –Erbien	65
A1.5: Korrelationstabelle wertvolle Biotop – TWW-Arten	65
A1.6: Korrelationstabelle wertvolle Biotop – Erbien	65

A1.7: Korrelationstabelle Klima –TWW-Arten.....	66
A1.8: Korrelationstabelle Klima –Erbien.....	66
A3.1: GLM Modell TWW-Arten – Topographie	71
A3.2: GLM Modell Erbien – Topographie.....	71
A3.3: GLM Modell TWW-Arten – Klima	71
A3.4: GLM Modell Erbien – Klima	72
A3.5: GLM Modell TWW-Arten – Landbedeckung.....	72
A3.6: GLM Modell Erbien – Landbedeckung.....	73
A3.7: GLM Modell TWW-Arten – wertvolle Biotope	73
A3.8: GLM Modell Erbien – wertvolle Biotope	73

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt, Schweiz
BDM	Biodiversitätsmonitoring Schweiz
BFE	Bundesamt für Energie, Schweiz
GLM	Generalisiertes lineares Modell (engl. Generalized Linear Model)
KSBDM	Koordinationsstelle Biodiversitätsmonitoring Schweiz
SBN	Schweizerischer Bund für Naturschutz
TWW	Trockenwiesen und -weiden
WSL	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Schweiz

1 Einleitung

Thema dieser Arbeit ist die Auswirkung von Klimaveränderungen auf die Tagfalterdiversität im Schweizer Alpenraum. Die Arbeit soll speziell den noch an Tagfalterarten reicheren Alpenraum betrachten, um aufgrund von Klimaprognosen die Veränderung der Diversität (Zu- sowie auch Abnahmen) aufzuzeigen.

1.1 Motivation

Habitatmodelle liefern Prognosen für Verteilungsmuster von Arten im Raum (Schröder & Reineking, 2004). Dabei wird nach einer Beziehung zwischen der Art und Habitatfaktoren (z.B. Klima, Landbedeckung) gesucht. In der Regel werden Habitatmodelle für einzelne bestimmte Arten angefertigt, selten für eine ganze Tier- oder Pflanzengruppe. Aufgrund der guten Datenausgangslage ist eine grossflächige Habitatmodellierung für eine ganze Insektenordnung, hier die Tagfalter, eine sehr spannende Thematik. Neben der Habitatmodellierung ist auch die Anwendung von bestehenden Klimaszenarien mit deren möglichen Auswirkungen reizvoll.

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit sind Verbreitungsszenarien der Tagfalterdiversität im gesamten Schweizer Alpenraum und deren zukünftige Veränderung aufgrund bestehender Klimaprognosen.

Die Arbeit soll Auskunft über folgende Fragen geben:

- Kann die Tagfalterdiversität im Alpenraum anhand von vorhandenen klimatischen, topographischen oder landschaftlichen Variablen erklärt werden? Und wenn ja, welche Variablen sind das?
- Kann mit den vorhandenen Variablen ein statistisch gut abgesichertes Modell erstellt werden?

- Welche Auswirkungen in Bezug auf die Artenanzahlen sind infolge von Klimaveränderungen zu erwarten?

1.3 Struktur der Arbeit

In einem ersten Schritt werden mögliche Lebensraum- und Landschaftsvariablen zusammengestellt, deren Faktoren evtl. die Diversität der Tagfalter beeinflussen könnten. Es soll untersucht werden, welche dieser Faktoren für eine hohe Diversität von Tagfaltern verantwortlich sind.

Anschliessend werden die Variablen aufgrund von statistischen Gegebenheiten auf ihre Tauglichkeit ausgewertet. Dafür werden Regressionsanalysen durchgeführt, speziell das *Generalisierte Lineare Modell* (GLM). Stehen die Faktoren der Variablen, die für die Diversität von Tagfaltern verantwortlich sind und das Regressionsmodell fest, werden Verbreitungskarten der Tagfalterartenanzahlen für den Alpenraum erstellt.

Anhand der errechneten Diversitätskarte sollen bestehende Szenarien der Klimaveränderung angewendet werden, um die Auswirkungen auf die Tagfalterdiversität zu prognostizieren. Als Resultat sind wiederum Verbreitungskarten vorgesehen. Die folgende Abbildung zeigt schematisch das Vorgehen und die Struktur der Arbeit.

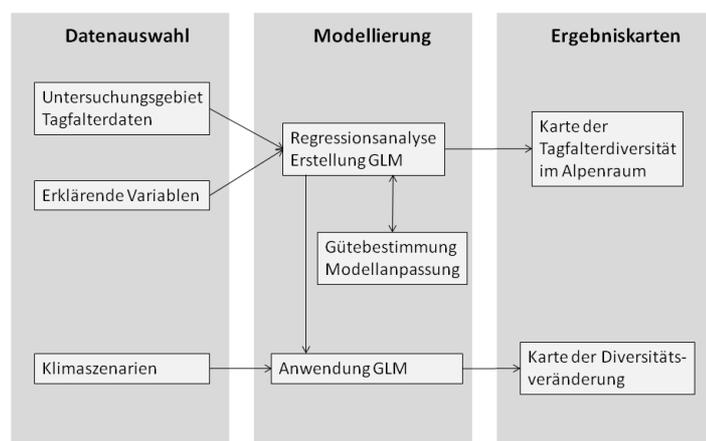


Abbildung 1.1: Struktur und Arbeitsablauf der Arbeit

1.4 Erwartetes Ergebnis

Das erwartete Ergebnis, gestützt auf die in Kapitel 1.2 formulierten Fragen, lässt sich in drei Teile gliedern:

- a) Statistisch gut abgesichertes Modell der Tagfalterdiversität für den Schweizer Alpenraum. Dabei sind besonders signifikante Variablen aufgeführt und mit statistischen Methoden abgesichert.
- b) Verbreitungsszenarien der Tagfalterdiversität im Schweizer Alpenraum.
- c) Prognosen der potentiellen Diversitätsveränderung aufgrund von Klimaszenarien.

Die Ergebnisse sollen vor allem die Habitatmodellierung von einer ganzen Tiergruppe veranschaulichen und interessierten Personen für zukünftige Auswertungen als Diskussionsgrundlage dienen. Zum anderen soll diese rein rechnerische Arbeit Tagfalterexperten zur kritischen Hinterfragung der Ergebnisse zur Verfügung gestellt werden.

2 Literaturüberblick

2.1 Tagfalterarten und ihre Diversität im Schweizer Alpenraum

Das Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM) erfasst seit 2003 die Artenvielfalt der Tagfalter und konnte mit der ersten Erhebungsperiode (2003-2007) insgesamt 188 verschiedene Arten nachweisen. Das sind 94% der etwa 200 aktuell vorkommenden Tagfalterarten der Schweiz (Altermatt et al., 2008). Altermatt et al. (2008) konnten mit den Daten aus dem Biodiversitätsmonitoring die tiefste Artenzahl pro Aufnahme­fläche (18,8 Arten) im Mittelland aufzeigen. Die artenreichsten Flächen befinden sich auf der Alpensüdseite (39,8 Arten), Zentralalpen (39,3 Arten) und der Alpennordflanke (38,3 Arten). Die grösste Anzahl von Tagfaltern (80 Arten) konnte im Mattertal (Wallis) registriert werden.

Der Rückgang der Tagfalter im Alpenraum ist im Gegensatz zum Mittelland noch nicht so weit fortgeschritten, obwohl auch dort mehrere Arten deutlich seltener geworden und auch einige Arten bedroht sind. Im Mittelland ist eine starke Verarmung der Schmetterlinge infolge von Landschaftsveränderungen zu beklagen (SBN, 1987).

Sauter (Sauter 1968, 1975) hat die Schweiz vom Standpunkt der Zoogeographie in sieben Hauptzonen unterteilt: Jura, Nordalpen, Wallis, Mittelland, Graubünden, Engadin und Südschweiz. Die nachstehende Abbildung zeigt die Hauptzonen mit den darin vorkommenden maximalen Tagfalterartenanzahlen.

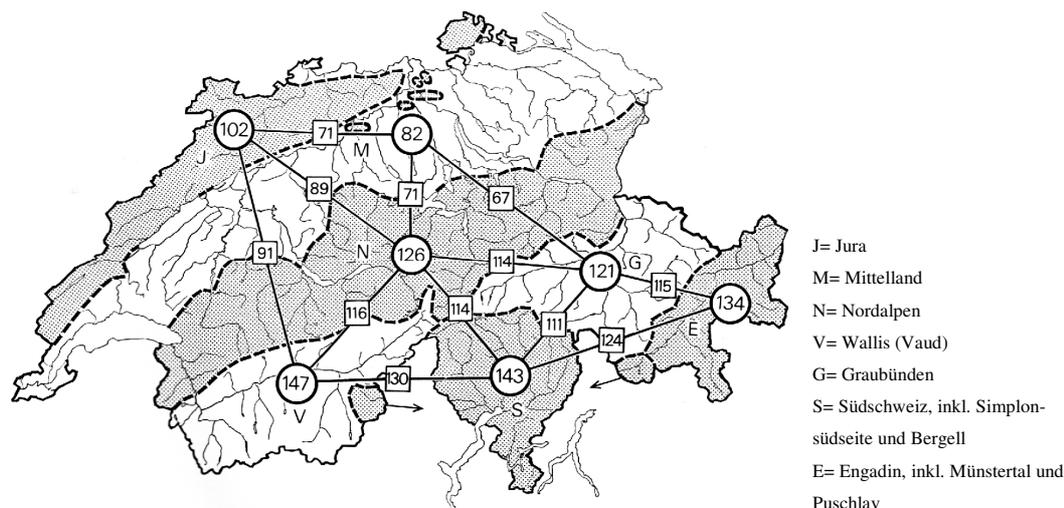


Abbildung 2.1: Hauptzonen der Tagfalter Zoogeographie mit den max. vorkommenden Artenanzahlen¹

Neben der Untergliederung nach der Geographie kann die Diversität der Tagfalter auch nach der Höhenstufe unterteilt werden (SBN, 1987), siehe auch Abbildung 2.2:

- unterste kolline Höhenstufe (bis 600-700m): 139 Arten
- montane Gebiete (bis 1000m): 149 Arten
- bis zur Laubwaldgrenze (1200-1500m): 97 Arten
- oberhalb der Baumgrenze (um 2000 m ü.M.): 41 Arten
- bis knapp zur Schneestufe (bis stellenweise oberhalb 3000 m ü.M.): drei Arten (alles Erebien/Mohrenfalter)

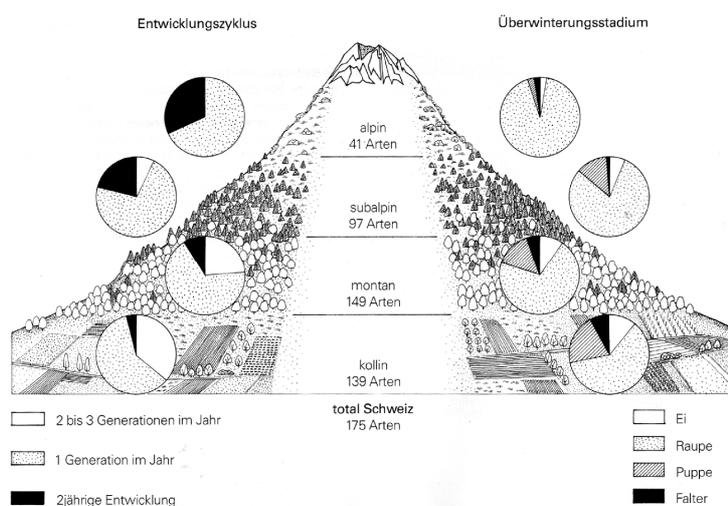


Abbildung 2.2: Verteilung der Schmetterlingsarten nach den Höhenstufen²

¹ Quelle: Sauter 1968, 1975

² Quelle: SBN, 1987

Der massgeblichste Verbreitungsfaktor der Schmetterlinge ist das Vorkommen der Raupenfutterpflanzen. Dabei kann aber nicht davon ausgegangen werden, dass das Vorkommen der Pflanzen die Garantie für die Anwesenheit der Schmetterlingsart ist (SBN, 1987).

Insgesamt ist der Rückgang der Schmetterlinge in der Schweiz vor allem im Mittelland zu verzeichnen. Einige Schmetterlingsfachleute schätzen, dass heute im Mittelland rund hundertmal weniger Tagfalter fliegen als noch um die Jahrhundertwende (SBN, 1987). Der Grund ist das Verschwinden geeigneter Lebensräume mit ihren dazugehörigen Futterpflanzen. Am gefährdetsten sind Tagfalter, die an ganz bestimmte Biotope gebunden sind, wie z.B. an Moore oder blütenreichen Magerwiesen.

2.2 Habitatmodellierung

Habitatmodelle werden zur räumlichen Vorhersage von Arten oder Artgruppen erstellt. Es sind räumliche Modelle zur Darstellung des potentiellen Lebensraums einer oder mehrerer Tierarten (Lang & Blaschke, 2007).

Terminologie

Für die Habitatmodellierung werden zum einen die Verbreitungsdaten der zu beschreibenden Art oder Artgruppe benötigt. Diese werden in der Literatur als Response-Variable bezeichnet. Synonyme sind: Abhängige Variable oder Ziel-Variable. Die verschiedenen Parameter der Habitateigenschaften, z.B. klimatische oder topographische Angaben, werden als unabhängige Variablen bezeichnet. Synonyme sind: Prädiktor Variable oder erklärende Variable.

2.2.1 Ziele

Schröder & Reineking (2004) geben als Ziel der Habitatmodellierung zwei Hauptpunkte an, die sie mit möglichen Fragestellungen unterstreichen:

- **Verständnis der Art-Habitat-Beziehung.** Welche Umwelteigenschaften bestimmen die räumliche Verteilung von Arten oder Artgemeinschaften? Kann der Lebensraum der Art überhaupt durch Umwelteigenschaften hinreichend beschrieben werden?

- **Prognose der räumlichen Verteilung von Arten.** Welche Verteilung ist in einem nicht untersuchten Gebiet zu erwarten? Welche Veränderungen der Zusammensetzung von Artengemeinschaften sind durch z.B. den Klimawandel zu erwarten?

Die Verbreitung von einer Art oder von Artgemeinschaften zu modellieren, wird auch gleichgesetzt mit einer Modellierung von dem potentiellen Habitat. Aus diesem Grund werden die erstellten Karten oft auch «Potentielle Habitat Verbreitungskarten» genannt.

2.2.2 Vorgehen

Guisan & Zimmermann (2000) geben einen detaillierten Überblick über das schrittweise Vorgehen von Habitatmodellierungen. Sie gliedern das Vorgehen in 5 Schritte:

- a) Erstellung eines konzeptionellen Rahmens
- b) Festlegung der statistischen Methode
- c) Kalibrierung des Modells
- d) Erstellung der Gebietsprognose(-karten)
- e) Evaluierung des Modells

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte nach Guisan & Zimmermann (2000) näher beschrieben und mit Aussagen anderer Autoren ergänzt.

a) Erstellung eines konzeptionellen Rahmens

Am Anfang wird eine grundlegende konzeptionelle Struktur festgelegt. Dabei sollten wesentliche Überlegungen zu den verwendeten Daten unternommen werden und was für eine Art Modell man anstrebt, bzw. wo die Prioritäten liegen. Soll es ein allgemeingültiges oder ein praxisbezogenes Modell sein? Sollen Ursache-Wirkungsbeziehungen eingebunden werden? Beruht es eher auf mathematisch/theoretischen oder auf empirischen Gegebenheiten?

Generell kann gesagt werden, dass es fast immer ein Kompromiss zwischen Präzision und Allgemeingültigkeit ist. Die Natur ist zu komplex und zu verschiedenartig, als dass jeder Aspekt in ein Modell integriert werden könnte.

Ein gutes konzeptionelles Modell hat einen angemessenen räumlichen Massstab und eine Selektion von aussagekräftigen erklärenden Variablen.

b) Festlegung der statistischen Methode

Für die Erstellung einer Habitatmodellierung ist es wichtig die passende Statistik auszuwählen. Um eine Beziehung zwischen einer Art resp. Artgruppe (Response-Variable) und Habitatfaktoren (erklärende Variable) festzustellen, wird eine Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei wird nach einer Funktion (passender Algorithmus) gesucht, die diese Zusammenhänge beschreibt.

Zum einen gibt es *Lineare Modelle*, wo eine Response-Variable durch eine oder mehrere erklärende Variablen zu erläutern versucht wird. Dabei besteht zwischen der Response- und der erklärenden Variable ein linearer Zusammenhang mit einer Normalverteilung. Existiert bei einem linearen Zusammenhang jedoch eine exponentielle (Binomiale-, Gaussian-, Poisson- oder Gamma-) Verteilung, so wird ein *Generalisiertes Lineares Modell* (GLM) angewendet. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft eine lineare Funktion mit einer Normalverteilung und einer exponentiellen Verteilung.

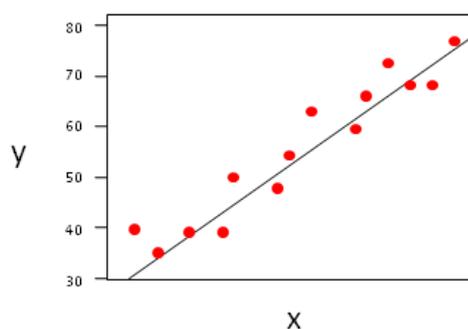


Abbildung 2.3: Lineare Funktion mit einer Normalverteilung

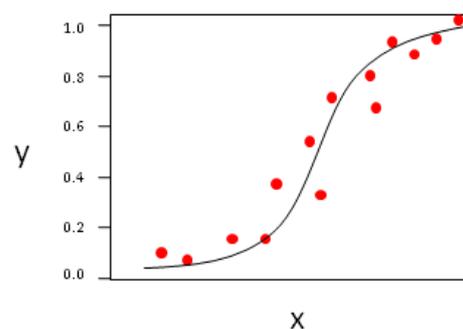


Abbildung 2.4: Lineare Funktion mit einer exponentiellen Verteilung

Neben der exponentiellen Verteilung kann bei einem GLM den erklärenden Variablen verschiedene Skalen angewendet werden, z.B. diskret, nominal, ordinal oder intervallskalliert (Yee & Mitchell 1991). Dadurch wird ein GLM flexibler einsetzbar als ein *Lineares Modell*.

Ein GLM ist durch folgende Angaben charakterisiert:

- Response-Variable mit exponentieller Verteilung
- Erklärende Variablen
- Regressionskoeffizienten
- Link-Funktion

Die Beeinflussung von den erklärenden Variablen zu der Response-Variable wird als linearer Prädiktor bezeichnet. Der lineare Prädiktor verbindet durch eine Link-Funktion die erwarteten Werte der Response-Variable mit den erklärenden Variablen. Durch die Link-Funktion werden die Wahrscheinlichkeitswerte zu reellen Zahlen transformiert.

Die Link-Funktion ist abhängig von der exponentiellen Verteilung der Response-Variablen. Bei einer Poisson-Verteilung wird als Link-Funktion in aller Regel der Logarithmus «log» eingesetzt. Das Statistikprogramm *R* hat in seiner Dokumentation den verschiedenen exponentiellen Verteilungen eine optimale Link-Funktion zugeteilt, z.B.:

Binomial = «logit»,

Gaussian = «identity»,

Gamma = «inverse» oder

Poisson = «log».

c) Kalibrierung des Modells

Rykiel (1996) beschreibt die Modellkalibrierung als eine Beurteilung und Anpassung der Modellparameter, um die Übereinstimmung von dem Modellergebnis und dem Datensatz zu verbessern. Ein wichtiger Teil ist die Auswahl von geeigneten erklärenden Variablen und die Überprüfung der Werte der Response-Variablen. Es sollten v.a. folgende Aspekte bedacht werden:

- Vermeidung von Korrelationen unter den erklärenden Variablen
- Modellkomplexität gering halten
- Werte mit starkem Einfluss auf das Modell prüfen.

Korrelationen

Sollten Korrelationen zwischen den einzelnen erklärenden Variablen bestehen, so empfehlen Fielding & Haworth (1995), dass nur eine der Variablen in die Modellbildung fließen sollte. Die Korrelation wird mit dem Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten überprüft und sie empfehlen einen Grenzwert von 0,7. Auch Harrell (2001) empfiehlt die Entfernung von korrelierenden Variablen. Er fügt an, dass Multikollinearität dazu führt, dass die Standardfehler des geschätzten Modells nicht mehr korrekt bestimmt werden können.

Modellkomplexität

Als Faustregel gilt: Nicht mehr als $m/10$ erklärende Variablen in dem endgültigen Modell zu belassen. Wobei «m» die Anzahl der Beobachtungen angibt (Harrell et al., 1996; Steyerberg et al., 2001). Reineking & Schröder (2004) schlagen eine rückwärts schrittweise Variablenselektion vor, um die Modellkomplexität und damit die Anzahl der Variablen zu verringern.

Einflusswerte

Neben der Auswahl der geeigneten erklärenden Variablen sollten während der Modellkalibrierung die einzelnen Werte der Response-Variable grafisch überprüft werden. Untypische Werte und Ausreisser oder Beobachtungen mit besonders starkem Einfluss auf die Modellbildung können durch Residuenplots gefunden werden (Schröder & Reineking 2004). Dazu gehört z.B. ein «Quantile-Quantile Plot» (Q-Q Plot) der Regressionsresiduen. Dieser kann benutzt werden, um die Streuung von Fehlereinflüssen zu überprüfen. Ähnlich kann ein Plot von «Standardized Residuals gegen Fitted Values» helfen, unerwartete Muster in der Abweichung zu identifizieren.

d) Erstellung der Gebietsprognose(-karten)

Wenn die Variablen feststehen, kann die Erstellung der Prognosekarte beginnen. Diese wird mit einem Geoinformationssystem (GIS) durchgeführt. Ein GLM Modell kann einfach in ein GIS implementiert werden, soweit die Link-Funktion berechnet werden kann. Ein GLM Modell wird erzeugt, indem man die Regressionskoeffizienten aus dem Modell mit den bestehenden Werten der erklärenden Variablen multipliziert. Das anschließende Ergebnis enthält die Skala von den erklärenden Variablen, so dass die Link-Transformation nötig ist, um die Prognosewerte auf die Skala der Response-Variable umzuwandeln.

Die Berechnungen der Kalibrierung und Evaluation (z.B. Cross Validation) werden ausserhalb des GIS Programms durchgeführt. Guisan & Zimmermann (2000) bedauern dieses Fehlen von statistischen Auswertungsmöglichkeiten bei einem GIS. Die GIS Programme lassen keine grafische Prüfung der Modellgüte zu.

e) Evaluierung des Modells

Die Eignung von statistischen Modellen kann mit einer Serie von Tests oder grafischen Methoden überprüft werden. Das Ziel der Evaluation ist eine unverzerrte, nicht zu

optimistische Schätzung der Modellgüte. Aufgrund dieser wird abgeschätzt, ob auch die Prognose für andere Gebiete benutzt werden kann (Schröder & Reineking 2004b).

Es gibt zwei Arten, um die Voraussagestärke eines Modells zu evaluieren:

- die **interne** und
- die **externe Validierung**.

Bei der **internen Validierung** steht nur ein Datensatz für die Erstellung und Kalibrierung des Modells zur Verfügung. Ist das der Fall, so sind Cross Validation, Leave-One-Out Jack-Knife oder Bootstrap passende Techniken, um das Modell zu evaluieren. Bei der Kreuzvalidierung (Cross Validation) wird die vorhandene Stichprobe in zwei Teile geteilt und es wird je eine Regressionsgleichung erstellt. Anschliessend wird die Regressionsgleichung von dem ersten Teil auf den zweiten Teil angewendet und umgekehrt. Im Anschluss wird der vorhergesagte Wert mit dem wahren Wert verglichen. Experimente haben gezeigt, dass eine 10-fache Kreuzvalidierung die beste Wahl ist, um zuverlässige Schätzungen zu bekommen (Kohavi 1995). Bei der 10-fachen Kreuzvalidierung wird die Validierung 10mal wiederholt und die anschliessenden Werte gemittelt.

Bei der **externen Validierung** stehen zwei unabhängige Datensätze zur Verfügung. Ein Datensatz wird für die Erstellung des Modells benutzt und ein anderer Datensatz für die Evaluation. Häufig werden diese zwei Datensätze als Trainingsdatensatz und Evaluationsdatensatz bezeichnet. Durch zwei verschiedene Datensätze, die aus einem anderen Untersuchungsgebiet oder von einem anderen Jahr stammen, kann die Übertragbarkeit untersucht werden. Dabei kann überprüft werden, ob dieselben erklärenden Variablen mit vergleichbaren Abhängigkeiten in das Modell eingehen, bzw. sie dieselben Vorzeichen vom Regressionskoeffizienten aufweisen (Schröder & Reineking 2004b).

Harrell (2001) weist darauf hin, dass eine sehr gute Modellgüte auch an einer Überanpassung (overfitting) des Modells liegen kann. Aus den Datensätzen, die für die Erstellung des Modells benutzt werden, resultiert oft ein besserer Gütewert als bei Daten, die hinterher für die Evaluation benutzt werden und nicht in die Berechnungen zur Modellbildung eingeflossen sind.

Räumliche Autokorrelation

Neben der Validierung sollten auch die vorhergesagten Werte in Form der Residuen nach räumlicher Autokorrelation überprüft werden. Hierzu kann der Moran's Index benutzt werden (vgl. Schröder & Reineking 2004, Austin 2002).

Die räumliche Autokorrelation untersucht, ob die räumliche Lage der Aufnahmen wie Distanz, Richtung oder Nachbarschaft die Werte der Variablen zueinander beeinflussen. Wenn die Werte unabhängig von der Lage sind, dann liegt keine räumliche Autokorrelation vor (LONGLEY 2001). Sollten annähernd die gleichen Wertausprägungen nahe beieinander liegen, so liegt eine positive räumliche Autokorrelation vor. Der Moran's Index und der Geary's Index sind zwei der wichtigsten Methoden die Autokorrelation anzugeben (LO & YEUNG 2002).

Nach Schröder & Reineking (2004) kann der Einflussbereich der räumlichen Autokorrelation auch durch experimentelle Variogramme der Residuen quantifiziert werden (vgl. auch Goovaerts, 1998; Wallace et al., 2000). Dieses Vorgehen wird auch für Habitatmodelle durchgeführt (Bio et al., 2002).

Schlussfolgerung

Statistische Voraussage- bzw. Prognosemodelle werden meist für die Forschung, für das Klassieren und Sichten oder für Planungen, Monitoring und Einschätzung des Gebietes benutzt. Sie sind von Natur aus wahrscheinlichkeitstheoretisch und sollten auch so behandelt werden (Decoursey 1992).

3 Material und Methode

3.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet wird auf Grundlage der Biogeografischen Regionen der Schweiz³ festgelegt, siehe Abbildung 3.1. Das Untersuchungsgebiet beinhaltet folgende Biogeografische Regionen: Östliche Zentralalpen, Westliche Zentralalpen, Alpennordflanke und Alpensüdflanke. Die Regionen Mittelland und Jura werden nicht in die Auswertung miteinbezogen. Dort sind durch die Intensität der Landnutzung wertvolle Lebensräume bereits zerstört und dadurch weisen sie, im Gegensatz zu den anderen Regionen, eine viel geringere Artenvielfalt auf (KSBDM, 2006). Insgesamt beträgt das Untersuchungsgebiet 25.820km².



Abbildung 3.1: Karte Schweiz mit dem Untersuchungsgebiet (dk. grauer Bereich)

3.2 Tagfalterdaten

Das Biodiversitätsmonitoring Schweiz untersucht seit 2003 die Tagfalterdiversität auf einem schweizweiten Messnetz, welches aus einem systematischen Stichprobenraster

³ nach Gonseth et al., 2001

besteht. Diese Tagfalteraufnahmen konnten für die Arbeit vom BDM bezogen werden. Das Messnetz besteht aus 509 Probeflächen von je einem Quadratkilometer Ausdehnung (siehe Abbildung 3.2).

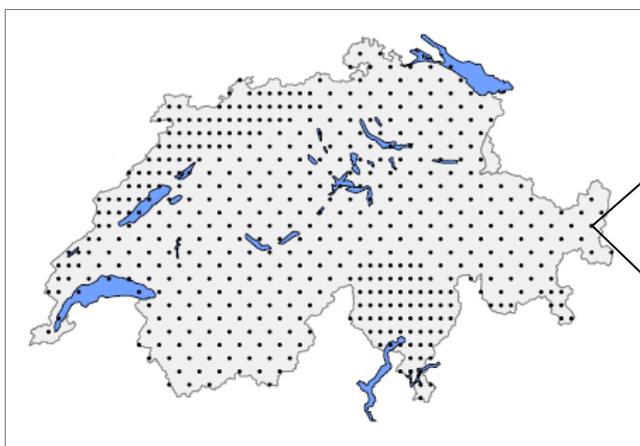


Abbildung 3.2: Messnetz zur Erfassung der Artenvielfalt in Landschaften⁴



Abbildung 3.3: Schematische Darstellung einer Probefläche (1km²), inkl. zu begehendem Transekt.

Die Untersuchungsflächen sind 1 km² grosse Quadrate. In diesen Quadraten werden sogenannte Transekte mit einer Länge von i.d.R. 2,5 km begangen.

Auf den Transekten werden in bestimmten Zeitfenstern durch Biologen die Tagfalterarten aufgenommen, wobei die Zeitfenster an die Höhenstufen angepasst sind. Pro Jahr müssen die Probeflächen bis zu 7mal begangen werden. Die genaue Anleitung der Tagfaltererhebung kann auf der Internetseite vom BDM⁵ heruntergeladen werden.

Ausgewählte Tagfalterdaten

Ein Ziel der Habitatmodellierung sind mögliche Verbreitungen / Verbreitungsmuster von Arten im Raum zu erkennen (vgl. Kapitel 2.2.1). Je genauer die Lebensräume und Ansprüche einer Art oder Artgruppe definiert werden, desto besser können die Ergebnisse ausgewertet und interpretiert werden. Aus diesem Grund würden Arten, die eine grosse Toleranz an die Lebensraumsprüche aufweisen (euryöke Arten), die Modellierung erschweren.

Für die Berechnungen und die Erstellung der Diversitätskarten werden zwei Tagfaltergruppen festgelegt:

1. eine Artengruppe, die speziell auf Trockenwiesen und -weiden angewiesen ist (Gruppe 1) und
2. eine Gruppe, die typische Arten der höheren Regionen zusammenfasst (Gruppe 2).

⁴ Quelle: Hintermann et al., 2002.

⁵ <http://www.biodiversitymonitoring.ch/pdfs/downloads/737%20Anleitung%20Z7-Tagf%20v12.pdf>, 3.1.2009.

Die Einteilung der zwei Gruppen erfolgte, speziell für diese Arbeit, durch den Tagfalterexperten Florian Altermatt (Büro Hintermann & Weber AG, Reinach, Schweiz).

Zu jeder Gruppe wird ein Habitatmodell, basierend auf der Grundhypothese der Lebensraumqualität, erstellt.

3.2.1 Arten der Trockenwiesen und -weiden (TWW-Arten) – Gruppe 1

Trockenwiesen und -weiden gehören zu den artenreichsten Lebensräumen der Schweiz, wobei 50 % der Tierarten bzw. 40 % der Pflanzenarten auf der Roten Liste stehen (Eggenberg et al., 2001). Die Gründe sind in dem anhaltenden Flächenverlust zu finden. Seit den letzten 60 Jahren sind rund 90 % der Trockenwiesen und -weiden in der Schweiz verschwunden (Eggenberg et al., 2001). Das Bundesamt für Umwelt hat aufgrund dieser Tatsache ein Inventar der national bedeutenden TWW-Flächen aufgestellt.

Somit sind Tagfalterarten, die in diesen speziellen Habitaten vorkommen, eine wichtige und interessante Gruppe, um eine Habitatmodellierung durchzuführen und potentielle Auswirkungen der Klimaveränderungen aufzuzeigen.

Die folgende Liste zeigt die im BDM nachgewiesenen Arten, die für die Auswertung benutzt werden (insgesamt 86 Arten, bzw. Komplexe):

Adscita statices-Komplex, *Agrodiaetus damon*, *Aporia crataegi*, *Brenthis daphne*, *Brintesia circe*, *Callophrys rubi*, *Carcharodus alceae*, *Carcharodus lavatherae*, *Clossiana dia*, *Colias hyale-Komplex*, *Cupido osiris*, *Erebia alberganus*, *Erebia medusa*, *Erebia melampus*, *Erebia meolans*, *Erebia oeme*, *Erebia styx*, *Erebia sudetica*, *Erebia triaria*, *Erynnis tages*, *Euchloe simplonia*, *Eurodryas aurinia*, *Fabriciana adippe*, *Fabriciana niobe*, *Glaucopsyche alexis*, *Hamearis lucina*, *Hesperia comma*, *Heteropterus morpheus*, *Hipparchia alcyone*, *Hipparchia fagi*, *Hipparchia semele*, *Hipparchia statilinus*, *Hyponephele lycaon*, *Iphiclides podalirius*, *Jordanita globularia-Komplex*, *Lasiommata maera*, *Lasiommata megera*, *Lycaena alciphron*, *Lycaena hippothoe*, *Lycaena tityrus*, *Lycaena virgaureae*, *Lysandra bellargus*, *Lysandra coridon*, *Maculineaalcon-Komplex*, *Maculinea arion*, *Mellicta athalia*, *Mellicta aurelia*, *Melitaea cinxia*, *Meleageria daphnis*, *Mellicta deione*, *Melitaea didyma*, *Mellicta parthenoides*, *Melitaea phoebe*, *Mesoacidalia aglaja*, *Minois dryas*, *Parnassius apollo*, *Parnassius mnemosyne*, *Plebicula amanda*, *Plebicula dorylas*,

Plebicula escheri, *Plebicula thersites*, *Pontia daplidice*, *Pseudophilotes baton*, *Pyrgus alveus*-Komplex, *Pyrgus carthami*, *Pyrgus malvae*-Komplex, *Pyronia tithonus*, *Satyrus ferula*, *Satyrium spini*, *Scolitantides orion*, *Thecla betulae*, *Thymelicus acteon*, *Thymelicus lineola*, *Thymelicus sylvestris*, *Zygaena carniolica*, *Zygaena ephialtes*, *Zygaena fausta*, *Zygaena filipendulae*, *Zygaena lonicerae*, *Zygaena loti*, *Zygaena minos*, *Zygaena osterodensis*, *Zygaena purpuralis*, *Zygaena romeo*, *Zygaena transalpina*-Komplex, *Zygaena viciae*.

3.2.2 Gattung der Erebien – Gruppe 2

Eine typische Gruppe der höheren Lagen ist die Gattung der Erebien (Mohrenfalter) deren Hauptverbreitung ab ca. 800 m ü.M. beginnt⁶.

Die Klimaprognosen der Schweiz für die nächsten 40-50 Jahre zeigen einen Temperaturanstieg von mehreren Grad (vgl. Kapitel 3.4). Aus diesem Grund wird eine Gruppe der höheren Lagen gebildet, um mögliche Auswirkungen des Temperaturanstiegs aufzuzeigen. Alle nachgewiesenen Erebienarten werden in der Gruppe 2 zusammengefasst. Im BDM sind dieses folgende 24 Arten: *Erebia aethiops*, *E. alberganus*, *E. cassioides*, *E. epiphron*, *E. eriphyle*, *E. euryale*, *E. flavofasciata*, *E. gorge*, *E. ligea*, *E. manto*, *E. medusa*, *E. melampus*, *E. meolans*, *E. mnestra*, *E. montana*, *E. oeme*, *E. pandrose*, *E. pharte*, *E. pluto*, *E. pronoe*, *E. styx*, *E. sudetica*, *E. triaria*, *E. tyndarus*.

3.3 Erklärende Variablen

Eine Absicht der Habitatmodellierung ist die Art-Habitat-Beziehung herauszufinden, d.h. die Umwelteigenschaften zu bestimmen, die für die räumliche Verteilung der Art oder Artgemeinschaft massgeblich beteiligt sind. Bei den Schmetterlingen ist der massgeblichste Verbreitungsfaktor das Vorkommen der Raupenfutterpflanzen. Es gibt jedoch keine flächigen Datensätze für die ganze Schweiz, die Kartierungen von Pflanzen beinhaltet. Aus diesem Grund wird die Modellierung mit schweizweiten vorhandenen Datensätzen durchgeführt, die u.a. indirekt auf die Verbreitung von Pflanzen einen Einfluss haben, wie z.B. Exposition, Niederschlag, Landnutzung oder Höhe.

⁶ Mündl. Mitteilung Florian Altermatt, Tagfalterexperte Hintermann & Weber AG, Feb. 2009

3.3.1 Topographische Variablen

Für die topographischen Variablen wird das digitale Höhenmodell (DHM25) der Schweiz mit einer Maschenweite von 25 m benutzt⁷. Das digitale Höhenmodell ist ein Datensatz, welches die dreidimensionale Form der Erdoberfläche der Schweiz ohne Bewuchs und Bebauung beschreibt. Es wurde im Wesentlichen aus der Höheninformation der Landeskarte 1:25.000 (LK25) abgeleitet. Folgende topographische Variablen wurden aus dem digitalen Höhenmodell generiert: Höhe in Meter, Hangneigung in Grad und die Exposition.

3.3.2 Klimatische Variablen

Die klimatischen Variablen konnten von der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) bezogen werden. Es liegen monatliche Mittelwerte (Messreihe von 1961 bis 1990) zu Temperatur und Niederschlag als Rasterdatensatz vor. Die Daten stammen von den Messstationen des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) und wurden von Zimmermann & Kienast (1999) aufgearbeitet und für die Schweiz interpoliert. Das genaue Vorgehen ist bei Zimmermann & Kienast (1999) beschrieben.

3.3.3 Variablen der Landbedeckung

Für die Variablen der Landbedeckung wird das digitale Landschaftsmodell der Schweiz (VECTOR25)⁸ verwendet, deren Daten auf der Landeskarte 1:25.000 basieren. Von den vorhandenen Vektordaten wird die thematische Ebene der Primärflächen (pri25) genutzt. Diese Ebene beschreibt die primäre topographische Bodenbedeckung als Polygondatensatz und bildet dadurch ein redundanzfreies, lückenloses Flächennetz. Folgende Flächenobjektarten werden ausgewiesen: Fels, Fluss, Gebüsch, Geröll mit Gebüsch, Geröll auf Gletscher, Geröll, Geröll in Wald, Geröll in offenem Wald, Gletscher, Kiesgruben, Obstanlagen, Reben, See, Siedlung, Sumpf, Sumpf im Wald, übrige Flächen, Wald und offener Wald.

⁷, ⁸ Bezug: Bundesamt für Landestopografie, Wabern, Schweiz (<http://www.swisstopo.admin.ch/>)

3.3.4 Variablen der Biotope von nationaler Bedeutung

Das Bundesamt für Umwelt führt sogenannte Bundesinventare zum Schutz von Natur und Landschaft. Für die Tagfalterdiversität sind besonders das Flach- und Hochmoorinventar interessant. Auch das Inventar der Trockenwiesen und -weiden (TWW) wird für die Habitatmodellierung herangezogen. Die Flach- und Hochmoorinventare können als GIS Geodatenatz direkt von der BAFU Homepage geladen werden⁹.

3.4 Klimaszenarien

2004 wurde vom Bundesamt für Energie (BFE) ein kurzer Überblick über die Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050 herausgegeben (BFE, 2004). Die Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms «Energiewirtschaftliche Grundlagen» erstellt und als Grundlage dienen die Klimaszenarien des EU-Projekts PRUDENCE. Für die Schweiz werden aus regionalen Klimaszenarien folgende Temperatur- bzw. Niederschlagsveränderungen bis 2050 prognostiziert:

Temperatur

	Alpennordseite			Alpensüdseite		
	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch
Sommer (JJA)	+0.8	+2.3	+5.1	+1.0	+2.5	+5.6
Winter (DJF)	+0.7	+1.6	+3.2	+0.7	+1.6	+3.2

Tabelle 3.1: Temperaturprognosen Schweiz bis 2050¹⁰

Niederschlag

	Alpennordseite			Alpensüdseite		
	tief	mittel	hoch	tief	mittel	hoch
Sommer (JJA)	-3%	-15%	-35%	-5%	-23%	-45%
Winter (DJF)	+5%	+10%	+23%	+5%	+10%	+23%

Tabelle 3.2: Niederschlagsprognosen Schweiz bis 2050¹¹

⁹ <http://www.bafu.admin.ch/gis/02911/07403/index.html?lang=de>, 26.4.2009

¹⁰ und ¹¹ Quelle: BFE, 2004.

3.5 Methode der Habitatmodellierung

Das Kapitel 2.2.2 beschreibt das Vorgehen einer Habitatmodellierung nach den fünf Schritten von Guisan & Zimmermann (2000). Die fünf Schritte werden in dieser Arbeit angewendet.

3.5.1 Konzeptioneller Rahmen

Die angestrebten Tagfalterdiversitätskarten erstrecken sich über den gesamten Schweizer Alpenraum. Das Untersuchungsgebiet beträgt fast 2/3 der gesamten Schweiz. Die Tagfalterdaten liegen jeweils für 1 km² grosse Quadrate vor, die auf einem zufälligen Stichprobennetz liegen. Aufgrund der Grösse des Untersuchungsgebietes und der vorhandenen Daten wird mit 25 x 25 m Rasterdaten gearbeitet.

Es werden keine Daten, sei es Tagfalteraufnahmen oder Aufnahmen zu Umweltvariablen, zusätzlich erhoben. Somit fliessen nur bereits vorhandene Daten in die Modellierung. Die erklärenden Umweltvariablen werden in erster Priorität hinsichtlich ihrer Existenz ausgewählt. Das Vorhandensein von flächigen Datensätzen für den gesamten Schweizer Raum in gleicher Qualität ist beschränkt, bzw. viele wünschenswerte Datensätze nicht vorhanden (z.B. Wiesentypen).

Alle vorhandenen Variablen fliessen mit der gleichen «Wichtigkeit» in die Modellierung ein. Es werden keine Variablen aufgrund von Erfahrungen oder empirischen Gegebenheiten bevorzugt oder ausgeschlossen. Somit kann die Modellierung mehrheitlich als mathematisch/theoretisch angesehen werden. Obwohl bei der Variablenauswahl darauf geachtet wurde, dass sie bezüglich Tagfalterdiversität interpretierbar sind.

Ziel ist, ein allgemeingültiges Modell der Tagfalterdiversität im Alpenraum zu erstellen. Die Karten sollen einen Gesamteindruck geben, wo mit hohen Artenzahlen zu rechnen ist.

3.5.2 Wahl der statistischen Methode

Wie im Kapitel 2.2 schon beschrieben ist das Ziel der Habitatmodellierung die Verteilung von einer Art/Artgruppe im Raum zu erstellen. Für die Modellierung werden in der Regel Regressionsanalysen durchgeführt.

Da die Tagfalterdaten vom BDM als Artenliste pro Untersuchungsquadrat vorliegen, muss ein Modell benutzt werden, welches Zähldaten (z.B. Menge von Individuen) als exponentielle Verteilung zulässt. Dieses setzt eine Eingabe einer Poisson-Verteilung voraus. Aus diesem Grund wird mit einem *Generalisierten Linearen Modell* gearbeitet.

Die erklärenden Variablen werden in einem ersten Schritt in vier Kategorien eingeteilt: topographische Variablen, klimatische Variablen, Variablen der Landbedeckung und Variablen der Biotop von nationaler Bedeutung. Für jede Kategorie wird ein GLM erstellt. Neben den Werten der Variablen wird zusätzlich auch immer der quadrierte Term mit in das Modell aufgenommen. Dieses ist u.a. eine Testmöglichkeit, ob zwischen der Response-Variablen und der erklärenden Variablen ein nicht linearer Zusammenhang besteht.

Aus den signifikanten Variablen jeder Kategorie wird anschliessend ein Synthesemodell erzeugt. Insgesamt gibt es fünf GLM Modelle pro Tagfaltergruppe (siehe nächste Abbildung).

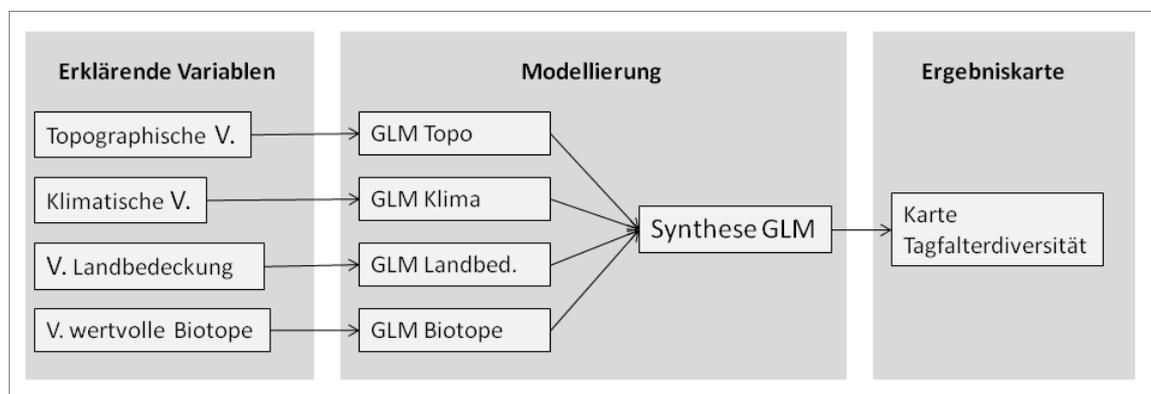


Abbildung 3.4: Vorgehen Modellierung der Tagfalterdiversitätskarte

3.5.3 Kalibrierung und Evaluation des Modells

Eine erste Überprüfung der Modellgüte erfolgt schon bei der Modellkalibrierung, d.h. während des Erstellungsprozesses wird die Güte überprüft.

AIC (Akaike Information Criterion)

Der AIC wird für die Modellgüteabschätzung bei der Beurteilung der vier Modelle der einzelnen Kategorien herangezogen. Der AIC Wert beurteilt in einer einzigen Zahl

- a) die Abweichung des Modells von den erhobenen Daten und
- b) die Komplexität (Anzahl von Parametern)

Dass heisst, das Modell mit der geringeren Anzahl von Parametern (bei gleicher Abweichung) wird positiver gewertet. Der kleinste AIC Wert beschreibt das beste Modell.

Residuenanalyse

Die Auswertung der Residuen ist eine weitere Methode, um ein Modell zu überprüfen. Sie wird in der Regel grafisch dargestellt. Die Residuen zeigen die Differenz zwischen dem gemessenen/beobachteten Wert und dem Wert der Modellschätzung. Der Wert der Residuen sollte möglichst gering sein. Die Residuenauswertungen werden sowohl bei der Modellkalibrierung sowie auch bei der Evaluation des Modells betrachtet. Bei der Kalibrierung ist vor allem der Plot «Residuals vs. Leverage» wichtig, da dort die eventuellen Ausreisser sichtbar werden, die unter Umständen eliminiert werden müssen.

Interne Validierung mittels Kreuzvalidierung

Generell stellt sich bei der Modellierung die Frage, wie gut die Vorhersage bzw. Generalisierbarkeit des Regressionsmodelles ist. Dafür wird bei dem fertigen Synthese GLM eine 10-fache Kreuzvalidierung durchgeführt.

Externe Validierung mittels zeitlicher Übertragung

Bei der externen Validierung stehen einem zwei unabhängige Datensätze zur Verfügung. Ein Datensatz wird für die Erstellung des Modells benutzt und der andere Datensatz für die Evaluation. Für die Erstellung der zuvor beschriebenen GLM Modelle werden die Tagfalterdaten von der BDM Ersterhebung (2003-2007) benutzt. Seit 2008 findet auf den Untersuchungsflächen die Zweiterhebung statt, d.h. es werden im fünf-Jahresrhythmus dieselben Flächen wieder beprobt. Für die externe Validierung wird der Datensatz aus 2008 (Wiederholung von den 2003 Untersuchungsquadraten) benutzt.

Es soll überprüft werden, ob die zeitliche Übertragung des Modells gegeben ist. Dazu wird mit dem zweiten Datensatz nach demselben Vorgehen ein GLM erstellt und geschaut, ob dieselben erklärenden Variablen mit vergleichbaren Abhängigkeiten in das

Modell einfließen und ob sie dieselben Vorzeichen vom Regressionskoeffizienten aufweisen.

Räumliche Autokorrelation

Die räumliche Autokorrelation wird anhand des Moran's und des Geary's Index ermittelt. Die Werte von dem Moran's Index liegen immer zwischen -1 und +1. Ein negativer Indexwert zeigt eine negative Autokorrelation an und ein positiver Wert entsprechend eine positive Autokorrelation. Unkorrelierte Daten mit einer zufälligen Anordnung haben einen Index um 0.

Der Geary's Index wird für intervallskalierte Attributdaten benutzt und kann somit für die Analyse von Daten aus Erhebungsgebieten verwendet werden (LO & YEUNG). Beträgt der Indexwert 1, dann sind die Daten unabhängig von ihrer Lage verteilt. Sollte der Geary's Index kleiner 1 liegen, so liegt eine positive räumliche Autokorrelation vor und wenn der Index grösser 1 liegt, so liegt dementsprechend eine negative räumliche Autokorrelation vor.

Neben den zwei Indexzahlen werden zusätzlich zur Veranschaulichung noch Karten mit den Residuenwerten der zwei Gruppen erstellt. Damit wird das Ergebnis der Indexzahlen untermauert.

4 Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung der Tagfalterdiversitätsmodellierung wird zum einen mit dem Statistikprogramm *R* (Version 2.8.1)¹² durchgeführt und zum anderen mit dem GIS Programm ArcGIS 9.2.

Insgesamt lässt sich die Umsetzung in fünf Blöcke einteilen:

- Aufbereitung der Daten
- Berechnung *Generalisiertes Lineares Modell*
- Modell Kalibrierung
- Erstellung der Prognosekarten
- Modell Evaluierung

4.1 Aufbereitung der Daten

4.1.1 Tagfalterdaten

Die Tagfalterartenlisten liegen pro Untersuchungsquadrat (1 km²) vor. Es werden alle eindeutigen Nachweise der Erstaufnahme (2003-2007) vom BDM benutzt. Lediglich Flächen mit einem Seeanteil von > 45 % und zweifelhafte oder unklare (Art unsicher) Kartierungen werden von der Auswertung ausgeschlossen.

Für die TWW-Arten sind es insgesamt 267 Quadrate mit 3716 Artnachweisen, die in die Modellierung einfließen, siehe nächste Abbildung.

¹² <http://www.r-project.org/>, 12.10.2008

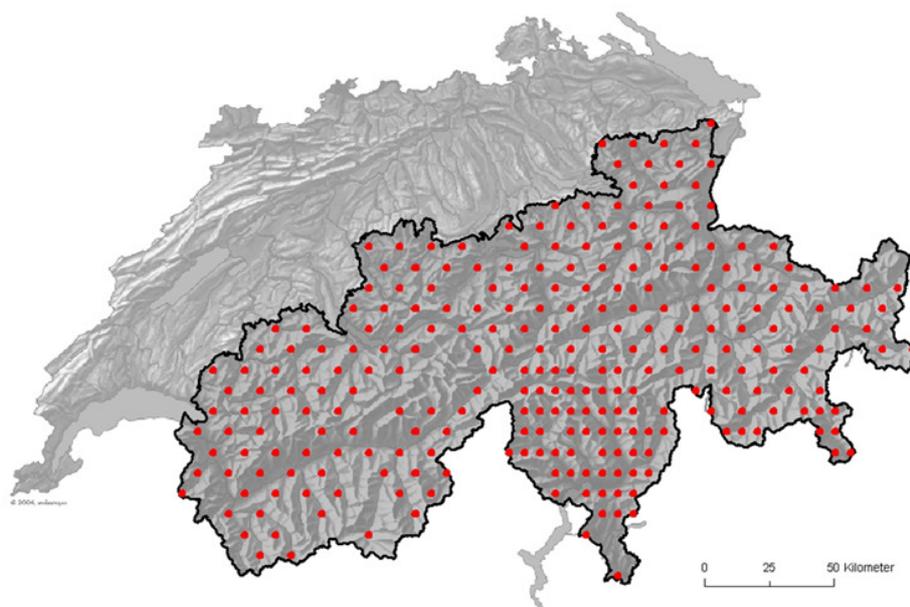


Abbildung 4.1: Untersuchungsgebiet mit den Tagfalterquadraten TWW-Arten.

Bei den Erebien wird angesichts der Habitatansprüche das Untersuchungsgebiet auf die Regionen über 800 m ü.M. beschränkt. Insgesamt fließen 211 Untersuchungsquadrate mit 1349 Artnachweisen in die Auswertung.

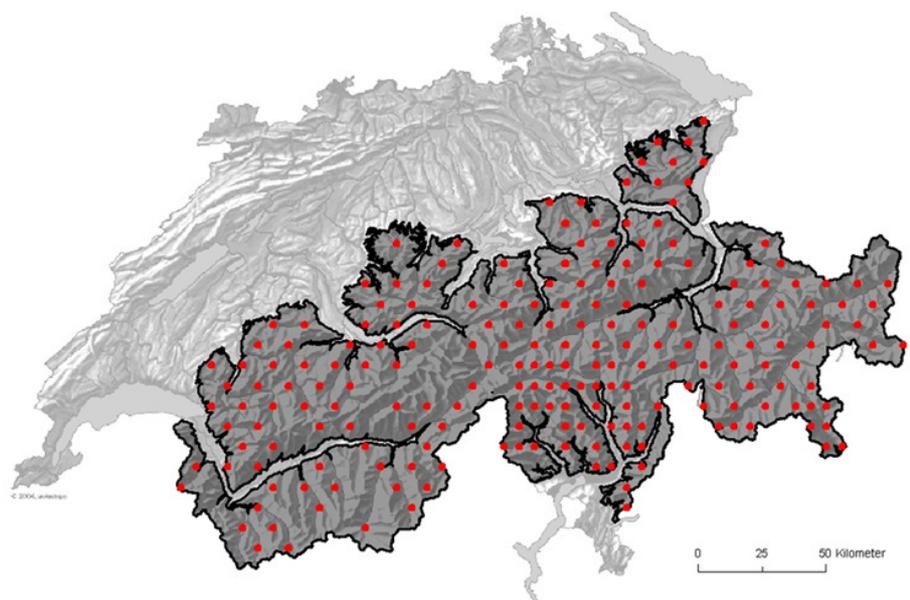


Abbildung 4.2: Untersuchungsgebiet mit den Tagfalterquadraten Erebien.

4.1.2 Erklärende Variablen

Die erklärenden Variablen sollten für das ganze Untersuchungsgebiet flächendeckend möglichst in gleicher Qualität vorliegen. Alle Daten werden, wenn nicht schon vorliegend, als 25 x 25m Grid gespeichert.

Topographische Daten

Aus dem digitalen Höhenmodell der Schweiz (DGM25) wurden folgende topographischen Variablen abgeleitet:

Höhe (dhm_MIN, dhm_MAX, dhm_MEAN). Die Höhe wird in m angegeben. Pro Untersuchungsquadrat werden die minimale (MIN), die maximale (MAX) und die durchschnittliche (MEAN) Höhe als Variable in das Modell aufgenommen.

Hangneigung (slope_MIN, slope_MAX, slope_MEAN). Die Hangneigung (slope) wird in Grad ausgewiesen. Pro Quadrat wird die minimale (MIN), die maximale (MAX) und die durchschnittliche (MEAN) Hangneigung als Variable in das Modell fließen.

Exposition (aspect_NS, aspect_OS). Die Exposition (aspect) wird in Grad Azimut berechnet. Aufgrund von tagalterspezifischen Habitatansprüchen wird der Datensatz nach der N/S und O/W Exposition generiert. Die Aufteilung erfolgt nach dem Vorgehen von Niederberger (2006). Niederberger wandelt die Grad Azimut Angaben in Werte von 0-1 um, damit der ungewollte Sprung von 0° zu 360° eliminiert wird (siehe Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4). Pro Untersuchungsquadrat wird der Medianwert als Variable in das Modell aufgenommen.

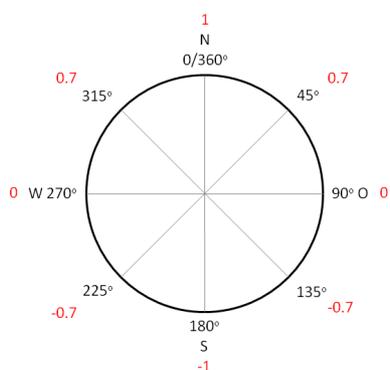


Abbildung 4.3: N/S Exposition

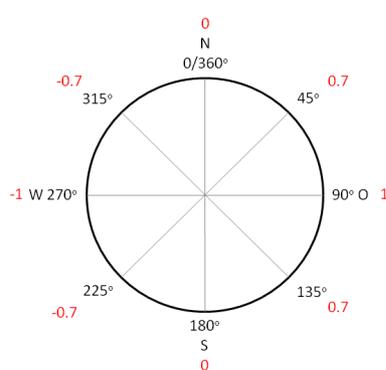


Abbildung 4.4: O/W Exposition

Klimatische Daten

Die klimatischen Daten stammen von der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und liegen als Rasterdatensatz pro Monat vor. Hinsichtlich der prognostizierten Klimaszenarien (siehe Kapitel 3.4) werden die monatlichen Werte zu «Sommer» und «Winter» Werten zusammengefasst. Die Sommerwerte beinhalten die Monate Juni bis August und die Winterwerte die Monate Dezember bis Februar. Pro Untersuchungsquadrat fließt der minimale (MIN), der maximale (MAX) und der durchschnittliche (MEAN) Wert als Variable in das Modell:

Temperatur Sommer (travejja_MIN, travejja_MAX, travejja_MEAN)

Temperatur Winter (travedjf_MIN, travedjf_MAX, travedjf_MEAN)

Niederschlag Sommer (precjja_MIN, precjja_MAX, precjja_MEAN)

Niederschlag Winter (precdjf_MIN, precdjf_MAX, precdjf_MEAN).

Variablen der Landbedeckung

Insgesamt kommen 19 Flächenkategorien im Untersuchungsgebiet vor. Teilweise sind die Flächenanteile der Kategorien sehr gering und manche Kategorien werden zum Teil nur von ein paar Untersuchungsquadraten abgedeckt. Aufgrund der geringen Anzahl von Untersuchungsquadraten pro Kategorie wurden folgende Landbedeckungskategorien zu grösseren Einheiten zusammengefasst:

- Fels, Geröll mit Gebüsch, Geröll auf Gletscher, Geröll, Geröll in Wald, Geröll in offenem Wald, Kiesgruben → Geröll
- Obstanlagen, Reben, übrige Flächen → Landwirtschaftsflächen
- Sumpf, Sumpf im Wald → Sumpf

Daraus folgen insgesamt 10 Landbedeckungskategorien, die in die weitere Auswertung aufgenommen werden. Die folgende Tabelle zeigt die 10 Kategorien und die Anzahl der Quadrate, die in den jeweiligen Kategorien vorkommen.

Variable	TWW-Arten		Erebien	
	Anzahl Quadrate	%	Anzahl Quadrate	%
Fluss	23	8,6	8	3,8
Gebüsch	122	45,7	106	50,2
Geröll	233	87,3	189	89,6
Gletscher	23	8,6	23	10,9
Landwirtschaft	262	98,1	206	97,6
See	41	15,4	38	18,0
Siedlung	64	24,0	32	15,2
Sumpf	35	13,1	31	14,7
Wald	197	73,8	142	67,3
Offener Wald	74	27,7	67	31,8

Tabelle 4.1: Anzahl Untersuchungsquadrate pro Landschaftsvariable

Variablen der Biotope von nationaler Bedeutung

Die Bundesinventare der Flachmoore (Stand 2007) und der Hochmoore (Stand 2008) werden alle komplett in die Auswertung einbezogen. Bei den Flachmooren wird die Aussengrenze des Moores als Perimeter für die Berechnungen verwendet. Allfällige Inselgebiete im Moor, die keinen nationalen Schutzstatus haben, werden trotzdem belassen. Bei dem Datensatz der Hochmoore werden alle Typen (primäre und sekundäre Hochmoorfläche, Hochmoorumfeld, offene Wasserfläche und vegetationslose Torffelder) in die Auswertung genommen. Somit gilt hier, wie bei den Flachmooren auch, die Aussengrenze des Hochmoores als Perimetergrenze.

Der Datensatz der Trockenwiesen und -weiden (Stand 2008) beinhaltet alle kartierten Flächen. Die Flächen sind in vier Kategorien eingestuft:

- A1: Anhang 1 der Verordnung: Objekt ist mit Kanton bereinigt und akzeptiert;
- A3: Anhang 3 der Verordnung: Objekt ist als national eingestuft, aber noch nicht bereinigt;
- KK: Objekt erreicht die notwendige Fläche für national nicht;
- NN: Objekt ist in Bewertung aus anderen Gründen, als nicht national eingestuft.

Für die Auswertung werden alle Kategorien einbezogen und jeweils die Aussengrenze (inkl. möglicher Inselgebiete) als Perimeter festgelegt.

Die Hoch- und Flachmoore sowie die Trockenwiesen und -weiden sind wertvolle Gebiete für Tagfalter. Da Tagfalter teilweise weite Strecken zurücklegen, soll zusätzlich geprüft werden, ob die Gebiete noch Einfluss auf die Tagfalterdiversität haben, wenn sie weiter entfernt liegen. Aus diesem Grund werden nicht nur die Flächen im

Untersuchungsquadrat in die Auswertung mit einbezogen, sondern auch die Flächen im Umkreis von einem Kilometer und in einem zweiten Schritt im Umkreis von zwei Kilometern.

Die folgende Tabelle zeigt die insgesamt 9 wertvollen Biotope und die Anzahl der Quadrate, die in den jeweiligen Kategorien vorkommen.

Variable	TWW-Arten		Erebnen	
	Anzahl Quadrate	%	Anzahl Quadrate	%
fm	18	6,7	16	7,6
fm_1km	60	22,5	51	24,2
fm_2km	98	36,7	79	37,4
hm	8	3,0	7	3,3
hm_1km	28	10,5	24	11,4
hm_2km	53	19,9	45	21,3
tww	43	16,1	32	15,2
tww_1km	126	47,2	91	43,1
tww_2km	186	69,7	142	67,3

Tabelle 4.2: Anzahl Untersuchungsquadrate pro Biotoptyp

Alle erklärenden Variablen werden als Rasterdatensatz (Grid) mit einer Zellengröße von 25 x 25m erstellt. Die Generierung wird mit dem Programm ArcGIS 9.2 (Spatial Analyst) durchgeführt. Einzig die Expositionsvariablen (aspect_NS, aspect_OS) mussten als 100 x 100m Rasterzellen ausgegeben werden, da der Spatial Analyst aus technischen Gründen die Medianwerte bei der vorhandenen Datenmenge (25.820 km²) nicht mehr berechnen kann.

4.1.3 Klimaszenarien

Die Klimaszenarien vom BFG beinhalten immer eine tiefe, eine mittlere und eine hohe Prognose (vgl. Kapitel 3.4). Für die Auswertungen wird immer die mittlere Annahme verwendet. Das bedeutet folgende Werte:

Temperatur Sommer:	Alpennordseite: +2.3 Grad	Alpensüdseite: +2.5 Grad
Temperatur Winter:	Alpennordseite: +1.6 Grad	Alpensüdseite: +1.6 Grad
Niederschlag Sommer:	Alpennordseite: -15%	Alpensüdseite: -23%
Niederschlag Winter:	Alpennordseite: +10%	Alpensüdseite: +10%

Tabelle 4.3: Klimaszenarien für die Modellierung

4.2 Modellberechnung, inklusiv Kalibrierung

Das GLM wird mit dem Programm *R* (Version 2.8.1) berechnet. Die Werte der Response-Variablen mit den dazu gehörigen Werten der erklärenden Variablen werden in eine Excel Liste geschrieben, die hinterher in *R* eingelesen wird. Für jede Gruppe (TWW-Arten, Erebien) wird je eine Tabelle erstellt.

Für die topographischen und klimatischen Variablen werden die MIN, MAX und MEAN Werte, resp bei der Exposition der MEDIAN Wert in die Tabelle aufgenommen und für die Landbedeckungsvariablen die Pixelanzahl je Untersuchungsquadrante. Dabei beträgt 1 Pixel (25 x 25m) beträgt 625 m². Für die wertvollen Biotope wird keine Fläche, sondern nur das reine Vorkommen (ja/nein) im Quadrat und zusätzlich im Umkreis von 1 km und 2 km herangezogen.

Insgesamt werden folgende unabhängige Variablen auf ihre Signifikanz geprüft:

Topographie: aspect_ns, aspect_ow, slope_MIN, slope_MAX, slope_MEAN, dhm_MIN, dhm_MAX, dhm_MEAN, dhm_MEDIAN

Klima: precjja_MIN, precjja_MAX, precjja_MEAN, precdjf_MIN, precdjf_MAX, precdjf_MEAN, travejja_MIN, travejja_MAX, travejja_MEAN, travedjf_MIN, travedjf_MAX, travedjf_MEAN

Landbedeckung: Fluss, Gebue, Geroel_aggr, Glet, Landw_aggr, See, Siedl, Sumpf_aggr, Wald, WaldOf

Wertvolle Biotope: fm, fm_1km, fm_2km, hm, hm_1km, hm_2km, tww, tww_1km, tww_2km

Für die einzelnen vier Kategorien (Topographie, Klima, Landbedeckung, wertvolle Biotope) wird zuerst je ein GLM berechnet. Anschliessend wird ein Synthesemodell aus den vier Einzelergebnissen erstellt. Für alle Variablen werden zusätzlich deren Quadratwerte zum Ermitteln eines nicht linearen Zusammenhangs in das Modell aufgenommen.

Der Befehl in *R*, exemplarisch für die TWW-Arten Kategorie Topographie, lautet:

ModelT<-

```
glm(TWWAnzahlArten~aspect_ns+I(aspect_ns^2)+aspect_ow+I(aspect_ow^2)+slope_MIN+I(slope_MIN^2)+slope_MAX+I(slope_MAX^2)+slope_MEAN+I(slope_MEAN^2
```

```
)+dhm_MIN+I(dhm_MIN^2)+dhm_MAX+I(dhm_MAX^2)+dhm_MEAN+I(dhm_MEAN^2),family="poisson",data=Daten)
```

Über das Argument *family* wird zusätzlich die Link-Funktion spezifiziert. Gibt man keine weiteren Spezifikation an, so wird bei einer Poisson-Verteilung die Link-Funktion $\log(\log(\mu))$ angewendet.

Kalibrierung

Zur Kalibrierung der Modelle wird folgendes überprüft:

- a) ob Korrelationen zwischen den einzelnen unabhängigen Variablen auftauchen
- b) ob die Daten Ausreisser besitzen.

Dazu werden in *R* die Korrelationstabellen, die Scatterplotmatrix Tabellen und die Residuenplots überprüft. Folgende Befehle werden dafür benutzt:

Korrelationstabellen: `cor(Daten[,], method="spearman")`,

Scatterplotmatrix Tabellen: `pairs(Daten[...])` und

Residuenplots: `plot(...)`.

Bei der Erstellung der Kategoriemodelle werden die Variablen, die untereinander stark korrelieren (Spearman > 0.7), geprüft und es wird die korrelierende Variable aus dem Modell gelöscht, die einen schlechteren p-Value Wert besitzt. Die Scatterplotmatrix wird dazu benutzt ungleiche Verteilungsmuster zwischen den Variablen zu finden. Neben den Korrelationentabellen und der Scatterplotmatrix werden noch die Residuenplots, speziell die «Residuals vs. Leverage» (leverage=Einfluss), bezüglich Ausreisser angeschaut. Diese können, müssen aber keine Ausreisser sein. Tauchen in der grafischen Darstellung Untersuchungsquadrate auf, die eine «Cook's distance» von >1 haben, werden die Werte geprüft und ggf. von der Auswertung ausgeschlossen.

Signifikante Variablen

Nachdem die korrelierenden Variablen und Ausreisser geprüft und ggf. entfernt wurden, werden in einem nächsten Schritt die signifikanten Variablen bestimmt.

Zuerst werden alle unabhängigen Variablen (inkl. deren Quadratwerte) in das Modell aufgenommen. Anschliessend werden schrittweise per Hand die nicht signifikanten Variablen eliminiert. Dabei wird immer die Variable entfernt, die den schlechtesten p-Value Wert besitzt. Nach jeder Entfernung einer Variablen wird das Modell neu

gerechnet. Als Ergebnis sind nur noch die signifikanten Variablen im Modell. Bei der Gruppe der TWW-Arten werden wegen der zahlreichen, signifikanten Variablen und der Gefahr des Overfitting nur die Variablen im Modell belassen, die einen p-Value Wert von <0.01 besitzen. Bei der Gruppe der Erebien werden alle signifikanten Variablen, die einen p-Value Wert von <0.05 haben, belassen.

Die Elimination (backward oder forward) der nicht signifikanten Variablen kann in *R* auch automatisch mit dem Befehl *step* erfolgen. Von dem automatischen Verfahren wird hingegen abgesehen. Der Grund liegt in den einbezogenen quadrierten Terms der Variablen. Würde nur der Quadratwert eine Signifikanz aufweisen und der Ausgangswert nicht, so würde der Ausgangswert bei der automatischen Elimination entfernt. Der Quadratwert sollte jedoch nicht ohne den Ausgangswert in das Modell einfließen.

Nachdem alle GLM Modelle der einzelnen Kategorien (Klima, Topographie, Landbedeckung, wertvolle Biotope) mit den signifikanten Variablen bestehen, wird als letzter Schritt das Synthesemodell erstellt. Das Vorgehen bei dem Synthesemodell ist gleich wie bei den Modellen der einzelnen Kategorien. Zuerst werden die untereinander korrelierenden Variablen eliminiert. Dabei ist der einzige Unterschied, dass diejenige Variable im Modell belassen wird, die nicht einen besseren p-Value Wert besitzt, sondern die in Bezug auf Klimaveränderungen besser zu interpretieren ist. Die Synthesemodelle sind in dem Ergebniskapitel 5.1 aufgeführt.

4.3 Erstellung der Prognosekarten

Die zuvor erstellten Synthesemodelle dienen zur Berechnung der Diversitätskarten und Veränderungswerte bei Anwendung der Zukunftsszenarien. Die Erstellung der Karten erfolgt mit dem GIS Programm ArcGIS 9.2.

Die Pixelwerte der einzelnen Grids werden im ArcGIS Calculator mit dem Estimate-Wert aus dem Synthesemodell multipliziert. Beispieleingabe einer Multiplikation in den ArcGIS Calculator lautet:

$$tavjja_min_mu = \text{float}((0.004978) * [tavejja_min])$$

Dieser Schritt der einzelnen Multiplikation kann theoretisch auch in einem Schritt im Calculator vollzogen werden. Aufgrund der grossen Datenmenge und der Grösse des

Untersuchungsgebietes kommt es jedoch gehäuft zu Berechnungsabbrüchen. Aus diesem Grund werden Einzelrechnungen durchgeführt.

Anschliessend werden die Grids mit den multiplizierten Estimate-Werten zusammen addiert. Das dadurch erzeugte Grid wird mit dem Intercept-Wert aus dem Synthesemodell multipliziert und anschliessend mit der «Exp»-Funktion multipliziert.

Beispiel der Eingabe in den ArcGIS Calculator:

$$tww_model = float(Exp(-0.8937 + [tww_sum]))$$

Es resultiert eine Karte mit den vorausgesagten Tagfalterartenanzahlen je Pixel. Das gleiche Vorgehen wird auch für die Karten der Zukunftsszenarien angewendet, ausser dass dabei die Grids mit den Zukunftsklimawerten multipliziert werden.

4.4 Evaluation der Synthesemodelle

Residuenplots

Für die Residuenauswertung wird das Statistikprogramm *R* benutzt. Mit dem Befehl *plot* lassen sich vier verschiedene Residuenauswertungen grafisch darstellen und analysieren:

- «Residuals vs. Fitted» (Residuen gegen vorhergesagte Werte)
- «Normal Q-Q» (Quantile der standardisierten Residuen gegen Quantile der Normalverteilung)
- «Scale-Location» (Wurzeltransformierte Residuen gegen vorhergesagte Werte)
- «Residuals vs. Leverage» (Leverage = Einfluss- oder Hebelpunkt; Hebelpunkte zeigen diejenigen Aufnahmen an, die eine Regression sehr stark beeinflussen).

Interne Validierung

Mit dem Statistikprogramm *R* wird für beide Gruppen (TWW-Arten und Erebien) eine 10-fache Kreuzvalidierung durchgeführt, wobei das «boot»-Packages dazu installiert werden muss. Der Befehl in *R* dazu lautet:

TWW-Arten

```
Code:
cv.err.10<-cv.glm(Daten, ModSy, K=10)
print(cv.err.10)
```

Erebien

```
Code:
cv.err.10<-cv.glm(Daten, ModSy, K=10)
print(cv.err.10)
```

Externe Validierung mittels zeitlicher Übertragung

Für die externe Validierung werden die Modelle der Ersterhebung mit den Daten der Zweiterhebung verglichen. Das Vorgehen der Modellierung mit den Daten der Zweiterhebung wird genauso durchgeführt, wie das der Daten der Ersterhebung. Wie bei der Kalibrierung werden zuerst die Aufnahmen der Ausreisser anhand der Residuenplots «Residuals vs. Leverage» geprüft und ggf. ausgeschlossen. Anschliessend werden die GLM Modelle pro Kategorie in *R* berechnet.

Räumliche Autokorrelation

Die räumliche Autokorrelation wird anhand der Residuen (Differenz zwischen gemessenen Wert und Modellschätzung) überprüft. Die Residuen werden in dem Statistikprogramm *R* mit dem Befehl `resid(ModSy, type="response")` erzeugt. Anschliessend werden die berechneten Residuen zur Veranschaulichung auf einer Karte dargestellt. Diese Karten werden mit ArcGIS 9.2 erstellt. Zusätzlich wird der Moran's und der Geary's Index mit dem Programm CrimeStat (Version 3.0) berechnet.

5 Ergebnisse

Das Ziel und das erwartete Ergebnis sind ein statistisch gut abgesichertes Modell der Tagfalterdiversität für den Schweizer Alpenraum und darauf aufbauend Verbreitungsszenarien der zu erwartenden Tagfalterartenanzahlen im Gebiet. Anhand bestehender Klimaszenarien werden deren Auswirkungen auf die Artenanzahlen der Tagfalter berechnet und grafisch dargestellt.

5.1 Statistische Modellierung

Die Modellierung der Tagfalterdiversität wird mittels einem *Generalisierten Linearen Modell* durchgeführt.

Die erklärenden Variablen werden in einem ersten Schritt in vier Kategorien aufgeteilt und jeweils ein GLM Modell berechnet. Anhand des AIC Wertes der Kategoriemodelle kann die Güte der erklärenden Variablen eingeschätzt werden.

Der AIC Wert beurteilt die Abweichung von den erhobenen Daten und die Komplexität (Anzahl Parameter) des Modells. Je weniger komplex das Modell (bei gleicher Abweichung von den erhobenen Daten), desto besser ist der AIC Wert. Der kleinste AIC Wert beschreibt das beste Modell.

Die Tabelle 5.1 zeigt die Ergebnisse und es ist zu erkennen, dass die topographischen- und klimatischen Variablen eine bessere Modellgüte, im Gegensatz zu den Landbedeckungsvariablen und den wertvollen Biotopen, aufweisen. Die dazugehörigen GLM Modelle sind im Anhang 3 zu finden.

Kategorien	TWW-Arten	Erebien
Topographie	AIC: 1886.3	AIC: 887.27
Klima	AIC: 2052.7	AIC: 913.67
Landbedeckung	AIC: 2170.2	AIC: 954.4
Wertvolle Biotope	AIC: 2731.8	AIC: 1052.8

Tabelle 5.1: AIC Wert der GLM Modelle nach Gruppe und Kategorie

5.1.1 Kalibrierung

Zur Kalibrierung werden die Korrelationen zwischen den einzelnen unabhängigen Variablen auf ungewöhnliche Verteilungen oder Ausreisser untersucht. Die dazu gehörigen Korrelationstabellen sind im Anhang 1 zu finden. Alle Variablen, die untereinander stark korrelieren (Spearman > 0.7), werden nicht in dasselbe Modell aufgenommen.

Anhand der Scatterplotmatrix wurde bei den TWW-Arten (Modell Topographie) die Variable max. Hangneigung (slope_MAX) ausgeschlossen (siehe Anhang Abbildung A2.1). In der Scatterplotmatrix ist ein Ungleichgewicht mit zwei starken Ausreißern erkennbar. In der weiteren Modellierung der TWW-Arten wird die max. Hangneigung ausgeschlossen und nur noch die Werte der minimalen und der durchschnittlichen Hangneigung (slope_MIN, slope_MEAN) verbleiben in der Modellberechnung. Alle Scatterplotmatrix-Tabellen sind im Anhang 2 zu finden.

Weitere Ausreisser in den Daten (einzelne Aufnahmepunkte) werden anhand der Residuenplots gefunden. Werte, die ein «Cook's distance» von >1 haben, wurden geprüft und anschliessend von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Bei den TWW-Arten werden drei (von insgesamt 267) und bei den Ereben zwei (von insgesamt 211) Untersuchungsquadrate aufgrund der Residuenauswertung ausgeschlossen. Die drei bzw. zwei Ausreisser sind in der Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 grafisch dargestellt.

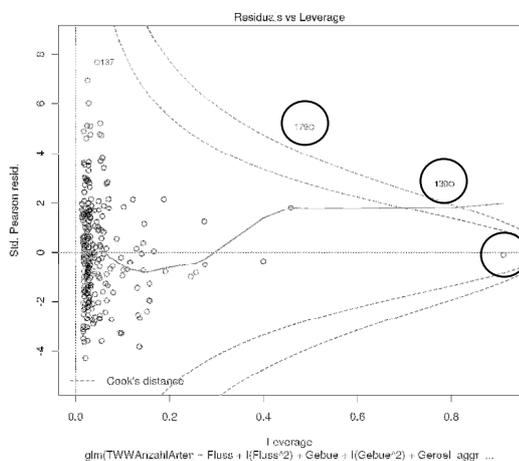


Abbildung 5.1: TWW-Arten, Kategorie Landbedeckung – «Residuals vs. Leverage»

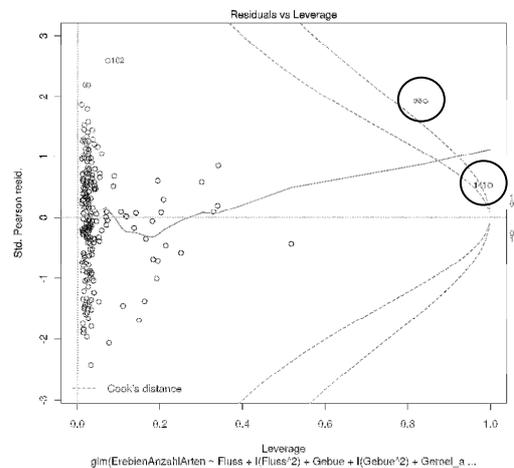


Abbildung 5.2: Ereben, Kategorie Landbedeckung – «Residuals vs. Leverage»

5.1.2 Synthesemodelle

Nachdem die Modelle der einzelnen Kategorien feststehen, folgt das daraus resultierende Synthesemodell. Die nächsten zwei Tabellen zeigen die Ergebnisse der Synthesemodelle für beide Gruppen.

Synthesemodell – TWW- Arten

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-8.937e-01	3.789e-01	-2.359	0.01832 *
aspect_ns	-2.430e-03	3.190e-04	-7.618	2.57e-14 ***
aspect_ow	7.960e-04	2.995e-04	2.658	0.00787 **
I(aspect_ow^2)	1.794e-05	6.680e-06	2.686	0.00723 **
slope_MEAN	1.892e-02	2.257e-03	8.383	< 2e-16 ***
precjja_MAX	-7.817e-04	5.718e-05	-13.670	< 2e-16 ***
precdjf_MAX	-1.409e-03	3.111e-04	-4.529	5.93e-06 ***
I(precdjf_MAX^2)	7.916e-07	1.388e-07	5.705	1.16e-08 ***
travejja_MEAN	5.604e-03	5.508e-04	10.173	< 2e-16 ***
I(travejja_MEAN^2)	-2.037e-06	2.165e-07	-9.407	< 2e-16 ***
Geroel_aggr	5.182e-04	1.764e-04	2.937	0.00331 **
I(Geroel_aggr^2)	-1.047e-06	1.648e-07	-6.350	2.15e-10 ***
Landw_aggr	5.700e-04	1.941e-04	2.936	0.00332 **
I(Landw_aggr^2)	-4.063e-07	1.289e-07	-3.152	0.00162 **
WaldOf	1.446e-03	5.693e-04	2.539	0.01111 *
I(WaldOf^2)	-3.490e-06	1.320e-06	-2.644	0.00819 **
tww_1km	1.454e-01	3.691e-02	3.938	8.22e-05 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 2033.31 on 263 degrees of freedom, Residual deviance: 647.56 on 247 degrees of freedom				
AIC: 1738.3				

Tabelle 5.2: Synthesemodell TWW-Arten

Aus den Ergebnistabellen ist abzulesen, dass das Vorkommen von TWW-Flächen im Umkreis von einem Kilometer (tww_1km) einen hochsignifikanten Einfluss auf die Diversität der Arten hat und zwar so, dass die Diversität mit dem Vorkommen von TWW-Flächen wächst (positives Vorzeichen). Im Gegensatz dazu hat der maximale Sommerniederschlag (precjja_MAX) einen negativen Einfluss auf die Diversität. Je höher der maximale Sommerniederschlag ist, desto niedriger sind die Tagfalterartenanzahlen.

Bei den Variablen offener Wald, Geröll, Sommertemperatur und Landwirtschaftsflächen besteht kein linearer, sondern ein glockenförmiger Zusammenhang. Dieses ist

durch den positiven Estimate-Wert der linearen Variablen und durch das negative Vorzeichen bei dem quadrierten Wert zu erkennen.

Der AIC Wert des Synthesemodells (1738.3) ist, verglichen mit den AIC Werten der einzelnen Kategorien (vergleiche Tabelle 5.1), am niedrigsten. Dieses zeigt, dass dem Synthesemodell, im Gegensatz zu den anderen Kategoriemodellen, der Vorzug gegeben werden sollte.

Synthesemodell – Erebien

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.988e+00	5.491e-01	-3.621	0.000293 ***
slope_MEAN	2.190e-02	5.335e-03	4.105	4.05e-05 ***
travejja_MIN	4.978e-03	8.506e-04	5.852	4.87e-09 ***
I(travejja_MIN^2)	-3.083e-06	4.886e-07	-6.310	2.79e-10 ***
Geroel_aggr	7.202e-04	2.403e-04	2.997	0.002723 **
I(Geroel_aggr^2)	-4.194e-07	1.782e-07	-2.353	0.018605 *
Landw_aggr	2.636e-04	9.867e-05	2.671	0.007556 **
WaldOf	6.680e-04	2.642e-04	2.528	0.011468 *
fm_2km	1.219e-01	5.901e-02	2.066	0.038845 *
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 313.38 on 208 degrees of freedom, Residual deviance: 123.34 on 200 degrees of freedom				
AIC: 889.41				

Tabelle 5.3: Synthesemodell Erebien

Das Synthesemodell der Erebien zeigt, im Vergleich zu dem Modell der TWW-Arten, eine geringere Anzahl von signifikanten Variablen, obwohl der Schwellenwert der Signifikanz bei dem Modell der Erebien niedriger angesetzt ist.

Bei den TWW-Arten fließen nur signifikante Variablen in das Modell, die einen p-Value Wert von <0.001 besitzen. Hingegen fließen bei den Erebien noch signifikante Variablen in das Modell, die einen Wert von <0.01 haben.

Bei dem Synthesemodell der Erebien haben die Hangneigung (slope_MEAN), die Sommertemperatur (travejja_MIN), Geröllfelder, Landwirtschaftsflächen, offener Wald und das Vorhandensein von Flachmooren im Umkreis von 2 km (fm_2km) einen positiven Einfluss auf das Vorkommen der Arten. Dabei weisen die Geröllfelder und die Sommertemperatur einen glockenförmigen Zusammenhang auf.

Der AIC Wert des Synthesemodells der Erebien ist etwas höher (889.41) im Gegensatz zu dem besten AIC Wert der vier Kategorien. Dieses liegt daran, dass in dem

Synthesemodell eine wichtige signifikante Variable aus der Topographie (maximale Höhe) und eine signifikante Variable aus der Kategorie Klima (minimale Sommertemperatur) stark untereinander korrelieren.

Aus diesem Grund muss eine Variable entfernt werden. Aus Gründen der Interpretierbarkeit im Zusammenhang mit den Zukunftsszenarien hat (vergleiche Kapitel 4.2) wird die Variable maximale Höhe entfernt.

5.1.3 Evaluierung der Synthesemodelle

Residuen-Analyse

Die Residuen-Analyse besteht aus vier verschiedenen grafischen Auswertungen. Die nächsten Abbildungen zeigen die Ergebnisse.

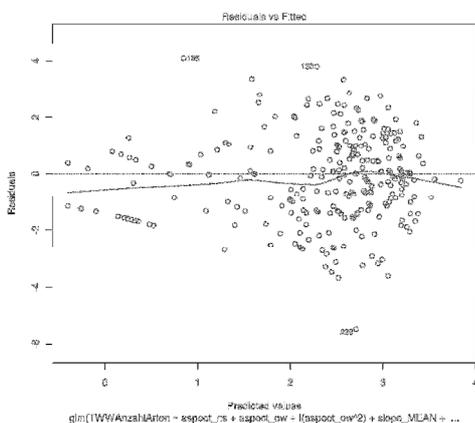


Abbildung 5.3: TWW-Arten Synthesemodell – «Residuals vs. Fitted»

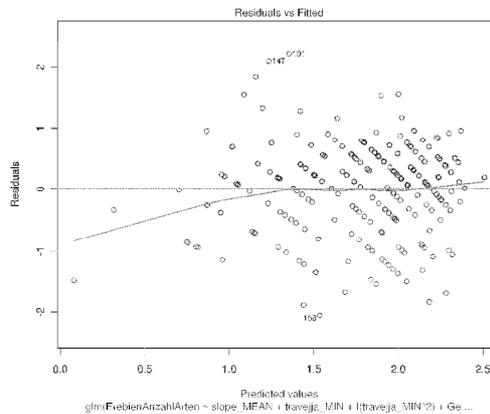


Abbildung 5.4: Ereben Synthesemodell – «Residuals vs. Fitted»

Die Plots der Abbildung 5.3 und Abbildung 5.4 stellen die «Residuals vs. Fitted» Ergebnisse der beiden Tagfaltergruppen dar. Idealerweise sollten die Residuen ca. in einem gleichbleibenden, um den Nullpunkt streuenden, horizontalen Band verteilt und keine Struktur erkennbar sein. Beide Grafiken weisen eine im Normbereich liegende Verteilung auf.

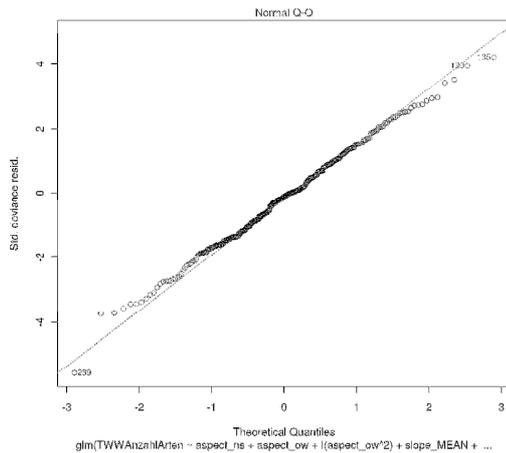


Abbildung 5.5: TWW-Arten Synthesemodell – «Normal Q-Q»

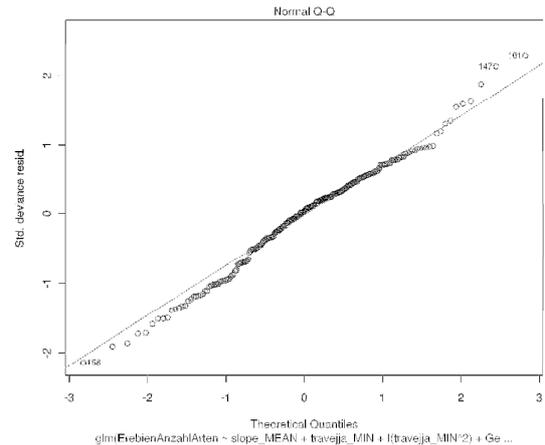


Abbildung 5.6: Erebien Synthesemodell – «Normal Q-Q»

Die Abbildung 5.5 und Abbildung 5.6 zeigen den «Normal Q-Q» Plot. Dort wird die Quantile der Normalverteilung (x-Achse) und die Quantile der standardisierten Residuen (y-Achse) gegeneinander aufgetragen. Wenn die Punkte annähernd auf der diagonalen Gerade liegen, kann man davon ausgehen, dass die Fehler normal verteilt sind. Die Plots liegen bei beiden Gruppen im normalen Bereich.

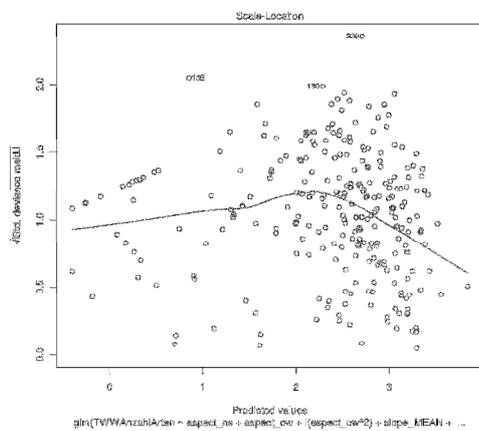


Abbildung 5.7: TWW-Arten Synthesemodell – «Scale-Location»

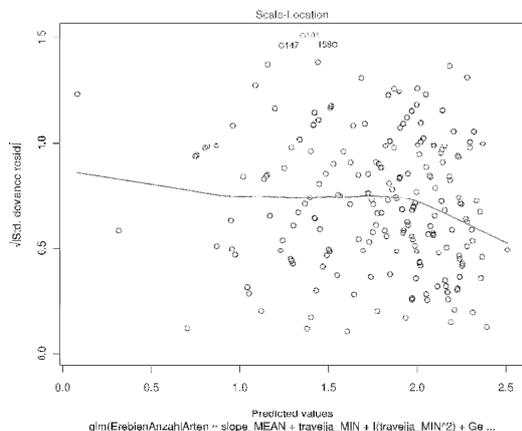


Abbildung 5.8: Erebien Synthesemodell – «Scale-Location»

Die Abbildung 5.7 und Abbildung 5.8 zeigen die wurzeltransformierten Residuen gegen die vorhergesagten Werte. Anhand dieses Plots kann untersucht werden, ob die Standardabweichung der Residuen über den Bereich der erklärenden Variablen gleich bleibt. Bei den Erebien sieht die Verteilung etwas gleichmäßiger aus, bei den TWW-Arten gibt es ein stärkeres Abknicken der Geraden am Schluss.

Bei den folgenden zwei Abbildungen «Residuals vs. Leverage» können Daten erkannt werden, die, wenn sie nicht vorkommen, das Ergebnis des GLM signifikant verändern würden. Werte > 1 müssen kritisch geprüft und ggf. eliminiert werden. Bei der Kalibrierung des Modells wurden die Werte, die einen starken Einfluss auf das Modell haben, bereits geprüft und entfernt. Aus diesem Grund weisen die Abbildungen keine kritischen Werte mehr auf.

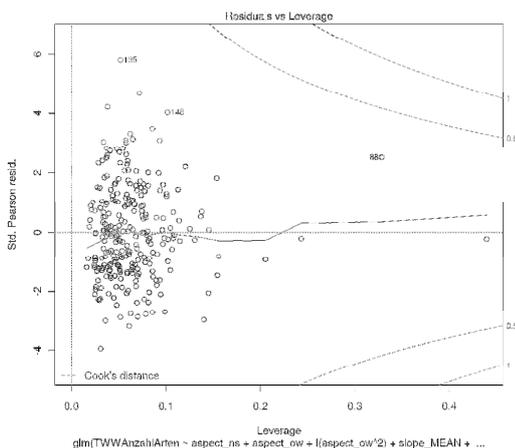


Abbildung 5.9: TWW-Arten Synthesemodell – «Residuals vs. Leverage»

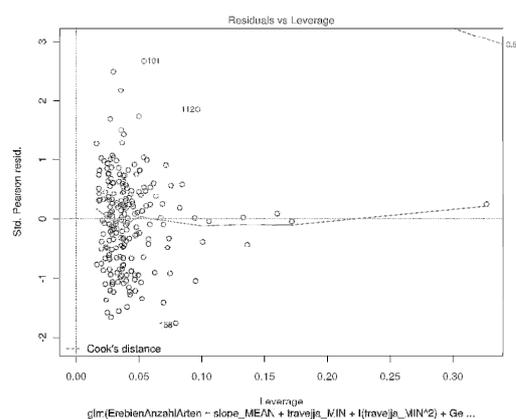


Abbildung 5.10: Erebien Synthesemodell – «Residuals vs. Leverage»

Die Auswertungen der Residuenplots (Abbildung 5.3 bis Abbildung 5.10) zeigen im Ganzen gute Ergebnisse. Es sind keine ungewöhnlichen Extremwerte vorhanden.

Interne Validierung

Die interne Validierung der Synthesemodelle wurde durch eine 10-fache Kreuzvalidierung durchgeführt.

TWW-Arten

Ergebnis:
 $\$call: cv.glm(data = Daten, glmfit = ModSy, K = 10)$
 $\$K: [1] 10$
 $\$delta: 1: 34.15315$

Erebien

Ergebnis:
 $\$call: cv.glm(data = Daten, glmfit = ModSy3, K = 10)$
 $\$K: [1] 10$
 $\$delta: 1: 3.695422$

Der Deltawert gibt den Durchschnitt der geschätzten Fehler im Quadrat an (raw cross-validation estimate of prediction error).

Bei den TWW-Arten liegt der durchschnittliche Fehler der vorausgesagten Artenzahlen bei 5.8 Arten ($\sqrt{34.15315}$). Bei einer maximalen Artenanzahl in einem Untersuchungsquadrat von 45 Arten ist der durchschnittliche Fehler akzeptabel.

Bei den Ereben liegt der durchschnittliche Fehler der vorausgesagten Artenanzahlen bei 1.9 ($\sqrt{3.695422}$) Arten. Die maximale Artenanzahl in einem Untersuchungsquadrat liegt bei 14 Arten. Dieses ist generell gesehen ein gutes Ergebnis, jedoch kann ein Overfitting nicht ausgeschlossen werden.

Externe Validierung

Für die externe Validierung wird geprüft, ob die Modelle in zeitlicher Hinsicht übertragbar sind. Dafür werden die Kategoriemodelle der Ersterhebung mit den Daten der Zweiterhebung (fünf Jahre später) verglichen. Bei den TWW-Arten müssen aufgrund der Residuenplots insgesamt fünf Aufnahmen von der Auswertung ausgeschlossen werden. Die folgenden Abbildungen zeigen die Residuenplots mit den Ausreißern. Bei den Ereben sind keine Ausreißer vorhanden.

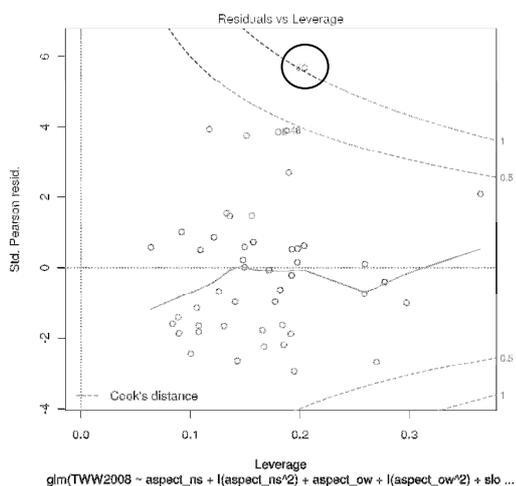


Abbildung 5.11: TWW-Arten, Kategorie Klima – «Residuals vs. Leverage»

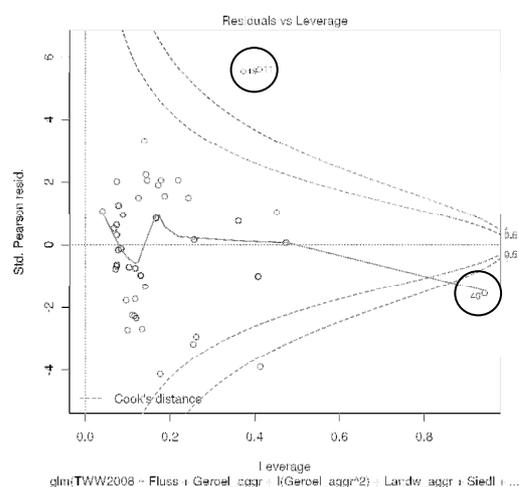


Abbildung 5.12: TWW-Arten, Kategorie Landbedeckung – «Residuals vs. Leverage»

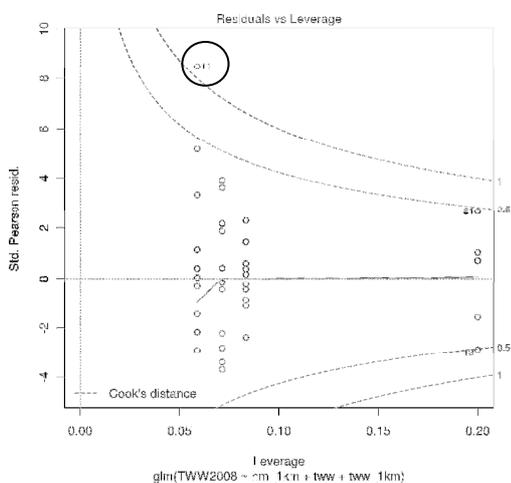


Abbildung 5.13: TWW-Arten, Kategorie wertvolle Biotop – «Residuals vs. Leverage»

Nachdem die Ausreisser eliminiert wurden, werden die GLM Modelle pro Kategorie erstellt. Bei den TWW-Arten fließen 264 Quadrate der Ersterhebung und 43 Quadrate der Zweiterhebung in die Modellierung ein. Bei den Erebien sind es insgesamt 209 Quadrate bei der Ersterhebung und 40 bei der Zweiterhebung.

Die folgenden Tabellen zeigen die Gegenüberstellung der Modelle Erst- zu Zweiterhebung.

Daten Ersterhebung, TWW Arten Topographie			Daten Zweiterhebung, TWW Arten Topographie		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	3.456e-01	0.1736	(Intercept)	2.578e+00	0.000271 ***
aspect_ns	-2.211e-03	5.52e-14 ***	aspect_ns	-4.287e-03	3.24e-06 ***
I(aspect_ns^2)	3.777e-05	7.85e-06 ***	I(aspect_ns^2)	8.681e-05	5.95e-05 ***
aspect_ow	6.118e-04	0.0375 *	aspect_ow	1.540e-03	0.100564
I(aspect_ow^2)	4.551e-05	5.56e-08 ***	I(aspect_ow^2)	7.499e-05	0.001669 **
slope_MEAN	-3.427e-02	5.35e-05 ***	slope_MEAN	-1.879e-01	8.75e-10 ***
I(slope_MEAN^2)	3.454e-04	6.70e-07 ***	I(slope_MEAN^2)	1.504e-03	1.47e-09 ***
dhm_MEAN	4.303e-04	< 2e-16 ***	dhm_MEAN	6.843e-04	< 2e-16 ***
I(dhm_MEAN^2)	-1.508e-08	< 2e-16 ***	I(dhm_MEAN^2)	-2.191e-08	< 2e-16 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.4: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten Topographie

Beide Datenreihen weisen genau die gleichen Variablen mit den gleichen Vorzeichen der Regressionskoeffizienten auf. Das lässt darauf schließen, dass das GLM mit den topographischen Variablen einer zeitlichen Übertragung standhält.

Daten Ersterhebung, Erebien Topographie			Daten Zweiterhebung, Erebien Topographie		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	-5.108e+00	< 2e-16 ***	(Intercept)	-4.522e+00	0.000144 ***
aspect_ns	-9.903e-04	0.04357 *			
I(aspect_ns^2)	-2.605e-05	0.01297 *			
slope_MEAN	1.303e-02	0.00819 **			
dhm_MAX	5.751e-04	< 2e-16 ***	dhm_MAX	5.850e-04	1.64e-07 ***
I(dhm_MAX^2)	-1.300e-08	< 2e-16 ***	I(dhm_MAX^2)	-1.295e-08	3.92e-07 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.5: GLM Modell externe Validierung Erebien Topographie

Bei den Daten der Zweiterhebung wird nur die max. Höhe als signifikant ausgegeben. Die Hangneigung und die N/S Exposition sind bei dem zweiten Modell nicht bedeutsam. Dieses deutet auf eine Unsicherheit bei der zeitlichen Übertragung hin. Evtl. kann die geringe Anzahl von Untersuchungsquadraten bei der Zweiterhebung der Grund für die geringe Anzahl von signifikanten Variablen sein.

Daten Ersterhebung, TWW-Arten Klima			Daten Zweiterhebung, TWW-Arten Klima		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept) -	-1.842e+00	5.48e-13 ***	(Intercept)	-9.564e-01	0.0924 .
precjja_MAX	-7.640e-04	< 2e-16 ***	precjja_MAX	-6.321e-04	6.14e-06 ***
precdjf_MAX	-1.011e-03	0.000575 ***	precdjf_MAX	-2.973e-03	1.27e-07 ***
I(precdjf_MAX^2)	5.712e-07	1.39e-05 ***	I(precdjf_MAX^2)	1.408e-06	2.05e-08 ***
travejja_MEAN	9.950e-03	< 2e-16 ***	travejja_MEAN	9.667e-03	< 2e-16 ***
I(travejja_MEAN^2)	-3.851e-06	< 2e-16 ***	I(travejja_MEAN^2)	-3.610e-06	< 2e-16 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.6: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten Klima

Bei den klimatischen Variablen sind, wie auch schon bei den topographischen Variablen, die gleichen Variablen mit den gleichen Vorzeichen der Regressionskoeffizienten vorhanden. Somit hält das GLM Model einer zeitlichen Übertragung stand.

Daten Ersterhebung, Erebien Klima			Daten Zweiterhebung, Erebien Klima		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	-7.596e-01	0.0105 *	(Intercept)	-3.037e-01	0.554
precjja_MEAN	2.091e-04	0.0140 *			
travejja_MIN	6.806e-03	<2e-16 ***	travejja_MIN	6.369e-03	2.28e-06 ***
I(travejja_MIN^2)	-4.411e-06	<2e-16 ***	I(travejja_MIN^2)	-4.220e-06	5.27e-07 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.7: GLM Modell externe Validierung Erebien Klima

Bei den Daten der Ersterhebung fließen bei den klimatischen Variablen der Sommerniederschlag und die Sommertemperatur in das Modell. Bei den Daten der Zweiterhebung nur noch die Sommertemperatur. Es ist bei den Erebien wieder eine Reduktion der signifikanten Variablen bei der Zweiterhebung zu erkennen und somit eine Unsicherheit bei der zeitlichen Übertragung vorhanden.

Daten Ersterhebung, TWW-Arten Landbedeckung			Daten Zweiterhebung, TWW-Arten Landbedeckung		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept) -	3.616e-02	0.93901	(Intercept)	3.049e+01	0.000182 ***
Fluss	6.457e-03	0.07831 .			
I(Fluss^2)	-1.224e-04	0.00200 **			
Gebue	3.990e-03	8.34e-16 ***	Gebue	-2.139e-02	0.000193 ***
I(Gebue^2)	-3.763e-06	7.86e-05 ***	I(Gebue^2)	3.604e-06	0.002354 **
Geroel_aggr	1.919e-03	7.37e-08 ***	Geroel_aggr	-1.354e-02	0.005022 **
I(Geroel_aggr^2)	-1.396e-06	< 2e-16 ***	I(Geroel_aggr^2)	-4.874e-06	6.71e-10 ***
			Glet	-1.546e-02	0.002650 **
Landw_aggr	2.760e-03	1.38e-14 ***	Landw_aggr	-1.785e-02	0.000539 ***
I(Landw_aggr^2)	-9.764e-07	6.99e-10 ***			
Siedl	1.927e-03	2.09e-07 ***	Siedl	-4.682e-03	0.375483
			I(Siedl^2)	-6.054e-05	1.36e-05 ***
			Sumpf_aggr	-2.262e-02	0.000124 ***
Wald	1.110e-03	0.00167 **	Wald	-1.725e-02	0.000662 ***
I(Wald^2)	3.844e-07	0.00532 **			
WaldOf	4.758e-03	2.01e-14 ***	WaldOf	-8.368e-03	0.119027
I(WaldOf^2)	-7.847e-06	8.39e-09 ***	I(WaldOf^2)	-2.676e-05	9.66e-11 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.8: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten Landbedeckung

Bei den Landbedeckungsvariablen sind mehrere Differenzen ersichtlich. Die Variable Fluss fehlt vollständig bei dem Modell der Zweiterhebung und die Variable Gletscher fehlt bei den Daten der Ersterhebung. Auch die Regressionskoeffizienten sind sehr unterschiedlich. Bei dem Modell der Zweiterhebung haben alle Variablen, bis auf den Quadratwert vom Gebüsch, ein negatives Vorzeichen. Dieses zeigt einen negativen Einfluss auf die Artenanzahlen. Die Vorzeichen bei den Daten der Ersterhebung weisen mehrheitlich ein positives Vorzeichen auf. Somit halten die Landbedeckungsvariablen einer zeitlichen Übertragung nicht stand.

Daten Ersterhebung, Erebien Landbedeckung			Daten Zweiterhebung, Erebien Landbedeckung		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	1.303e+00	< 2e-16 ***	(Intercept)	1.206e+00	4.06e-08 ***
Fluss	-1.579e-01	0.017079 *			
I(Fluss^2)	7.189e-03	0.025672 *			
Gebue	2.543e-03	0.000331 ***			
I(Gebue^2)	-4.599e-06	0.011847 *			
Geroel_aggr	1.374e-03	1.57e-10 ***			
I(Geroel_aggr^2)	-8.937e-07	1.35e-07 ***			
Glet	-7.648e-04	0.019150 *			
Landw_aggr	3.405e-04	0.000276 ***	Landw_aggr	2.711e-03	9.14e-05 ***
			I(Landw_aggr^2)	-1.875e-06	6.00e-05 ***
			Wald	-2.621e-03	0.006081 **
			I(Wald^2)	1.985e-06	0.030198 *
WaldOf	1.105e-03	8.42e-06 ***	WaldOf	6.596e-03	0.000175 ***
			I(WaldOf^2)	-9.606e-06	0.007983 **
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.9: GLM Modell externe Validierung Erebien Landbedeckung

Bei den Landbedeckungsvariablen der Erebien gibt es, wie bei den TWW-Arten auch schon, starke Differenzen zwischen dem GLM Modell der Ersterhebung und dem GLM Modell der Zweiterhebung. Lediglich die Landwirtschaftsflächen (Landw_aggr) und der offene Wald (WaldOf) sind bei beiden Datenreihen vorhanden. Somit hält das GLM Synthesemodell der Ersterhebung einer zeitlichen Übertragung nicht stand.

Daten Ersterhebung, TWW-Arten wertvolle Biotope			Daten Zweiterhebung, TWW-Arten wertvolle Biotope		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	2.17853	< 2e-16 ***	(Intercept)	1.83524	< 2e-16 ***
			hm_1km	0.63285	0.000139 ***
tww	0.36707	< 2e-16 ***	tww	0.60237	1.65e-09 ***
tww_1km	0.21799	2.41e-06 ***	tww_1km	0.70575	4.72e-08 ***
tww_2km	0.33377	2.89e-10 ***			
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.10: GLM Modell externe Validierung TWW-Arten wertvolle Biotope

Bei den Variablen der wertvollen Biotope der Zweiterhebung sind die Hochmoorflächen im Umkreis von einem Kilometer (hm_1km) hoch signifikant, welche bei den Daten der Ersterhebung gänzlich fehlen. Die TWW-Flächen sind bei beiden Datenreihen hoch signifikant, wobei bei der Ersterhebung noch die TWW-Flächen im Umkreis von 2 km eine Rolle spielen.

Daten Ersterhebung, Erebien wertvolle Biotope			Daten Zweiterhebung, Erebien wertvolle Biotope		
	Estimate	Pr(> z)		Estimate	Pr(> z)
(Intercept)	1.78254	< 2e-16 ***	(Intercept)	1.5261	<2e-16 ***
fm_2km	0.12703	0.03094 *			
hm_1km	-0.28774	0.00428 **			
tww_1km	0.11766	0.03311 *	tww_1km	0.3302	0.0157 *
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'	

Tabelle 5.11: GLM Modell externe Validierung Erebien wertvolle Biotope

Bei den Erebien ist wieder eine Abnahme der Variablenkomplexität bei dem GLM Modell der Zweiterhebung sichtbar. Kommen bei der Ersterhebung noch TWW-Flächen, Flach- und Hochmoore vor, so stehen bei den Daten der Zweiterhebung nur noch TWW-Flächen als leicht signifikant im Zentrum.

Generell lässt sich bei den TWW-Arten sagen, dass die Modelle der topographischen und klimatischen Variablen auf die zeitliche Übertragung hin am stabilsten sind, d.h. die signifikanten Variablen sind bei beiden Zeitreihen identisch. Die grössten Differenzen bei beiden Tagfaltergruppen gibt es bei den Variablen der Landbedeckung.

Bei den Erebien weisen die Modelle der Zweiterhebung immer eine geringere Anzahl von signifikanten Variablen auf, d.h. die Modelle sind weniger komplex. Bei allen Kategorien, ausser der Landbedeckung, sind die signifikanten Variablen der Zweiterhebung auch bei den Variablen der Ersterhebung zu finden. Warum bei den Erebien immer weniger erklärende Variablen signifikant sind, kann nicht abschliessend erklärt werden. Wahrscheinlich liegt es an der geringeren Anzahl von Untersuchungsquadraten.

Räumliche Autokorrelation

Ob die Residuen sich in ihrer räumlichen Lage zueinander beeinflussen, wird mit der räumlichen Autokorrelation bestimmt. Sollten nahe liegende Punkte sich auch in ihren Werten annähern, so spricht man von einer positiven räumlichen Autokorrelation. Sind die Werte unabhängig von der Lage, so liegt keine räumliche Autokorrelation vor.

Der Moran's Index der TWW-Arten liegt bei -0,000935 und bei den Erebien bei -0,001984. Dieses weist bei beiden Gruppen auf keine räumliche Autokorrelation hin.

Auch der Geary's Index bei den TWW-Arten und den Erebien zeigt keine räumliche Autokorrelation. Bei den TWW-Arten liegt er bei 0,987028 und bei den Erebien bei 0,985887. Die nachfolgenden Karten veranschaulichen auch dieses Ergebnis.

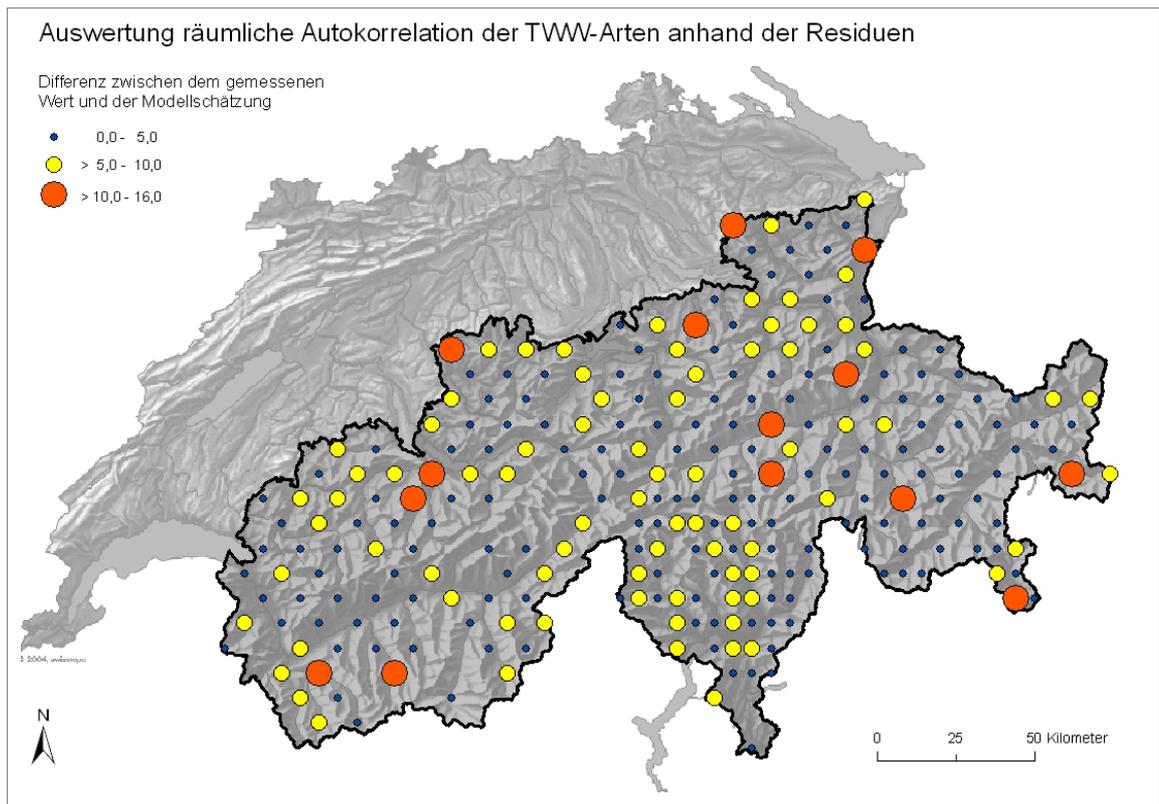


Abbildung 5.14: Karte zur räumlichen Autokorrelation anhand der Residuen – TWW-Arten

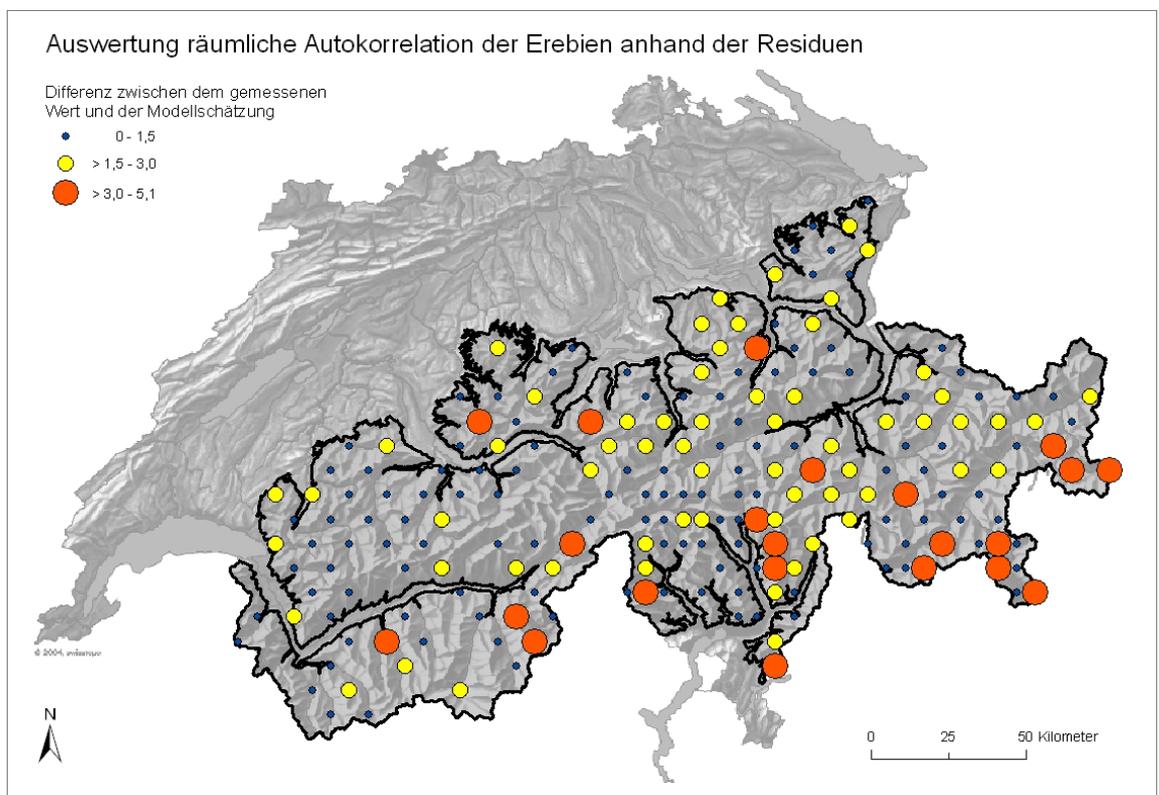


Abbildung 5.15: Karte zur räumlichen Autokorrelation anhand der Residuen – Erebieen

5.1.4 Schlussfolgerung der statistischen Modellierung

Die Erstellung der GLM Modelle kann im statistischen Sinne als abgesichert betrachtet werden.

McCarthy et al. (2001) formulierten das Testen der Modellgüte wie folgt:

“The role of model testing is not to prove the truth of a model, which is impossible because models are never a perfect description of reality. Rather, testing should help identify the weakest aspects of models so they can be improved.”

Es geht also bei der Modellierung und beim Testen der Modelle darum, herauszufinden, wo die Schwachstellen sind und diese auch zu kommunizieren.

Die Schwachstellen der Diversitätsmodellierung der Tagfalter sind die Landschaftsvariablen. Diese sollten daher mit Vorsicht bei zeitlichen Übertragungen der Modelle verwendet werden. Grundsätzlich können die entstandenen Synthesemodelle für die Erstellung der Diversitätskarten benutzt werden. Die Auswertung der Residuen ergibt eine nicht räumliche Autokorrelation, was als positiv zu bewerten ist. Trotzdem sollte nicht vergessen werden, wie es Decoursey (1992) ausgedrückt hat: „Voraussagemodelle sind stets wahrscheinlichkeitstheoretisch (probabilistic).“ Die Ergebnisse stellen Prognosen dar und nicht die tatsächliche Artenanzahl.

5.2 Karten der Tagfalterdiversität

Ein Ziel und erwartetes Ergebnis sind Verbreitungsszenarien der Tagfalterdiversität im Alpenraum, aufbauend auf der statistischen Modellierung. Die folgenden zwei Karten stellen die vorausgesagte potentielle Verteilung der Artenanzahlen dar. Bei der Prognose der räumlichen Verteilung ist jedoch zu beachten, dass die Szenarien lediglich das Potential der möglichen Verbreitung beschreiben.

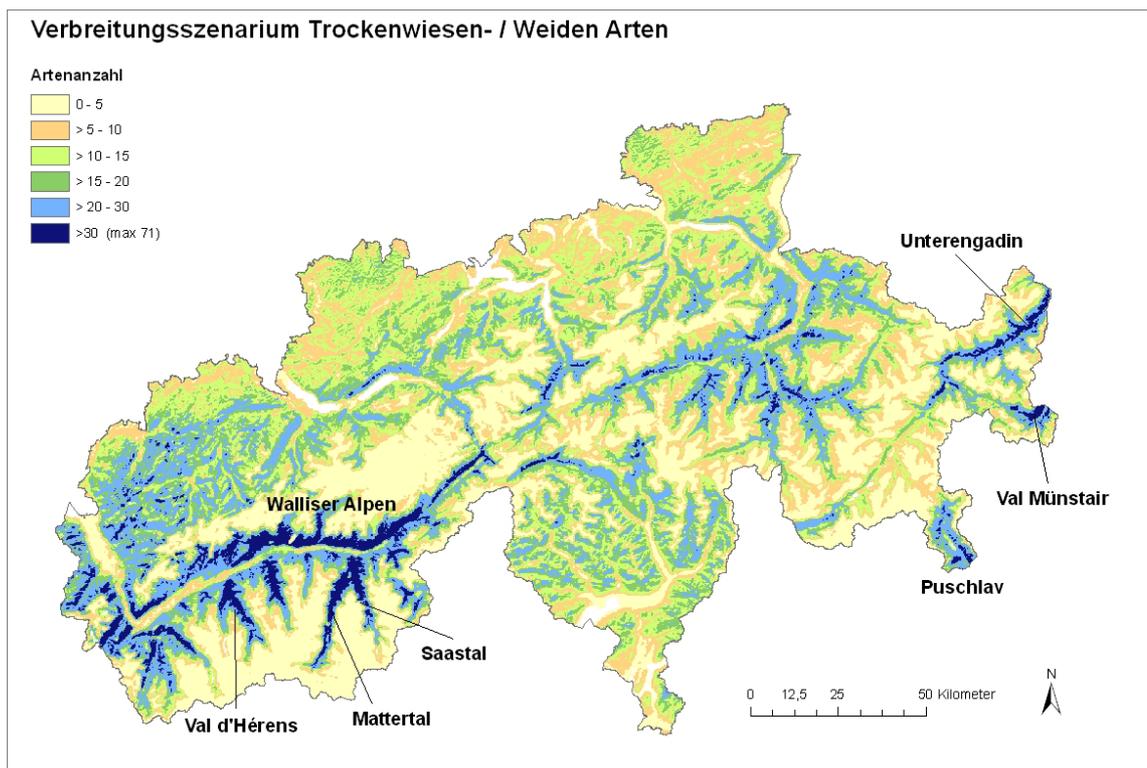


Abbildung 5.16: Verbreitungsszenarium der TWW-Artenanzahlen im Schweizer Alpenraum

Die Verbreitungskarte zeigt deutlich die Gebiete, in denen eine hohe Artenzahl der Trockenwiesen und -weidenarten vorausgesagt wird, insbesondere im südwestlichen Bereich um das Rhonetal mit den Südhängen der Walliser Alpen und Seitentäler, wie das Mattertal, Saastal und Val d'Hérens. Im Osten sind das Unterengadin und das Val Müstair zu nennen und noch weiter südlich das Puschlav.

Das Wallis zählt zu den Gebieten mit den meisten Tagfalterarten in der Schweiz (vergleiche Abbildung 2.1). Insbesondere die Südhänge des Kantons Wallis, wo auch die «Walliser Felsensteppe» zugehört, sind bekannt für das Vorkommen der wärmeliebenden Arten, wo auch die TWW-Arten zugehören. Auch das Engadin gilt im gesamtschweizerischen Kontext als artenreiches Gebiet.

Die Karte zeigt jedoch auch einen zu überprüfenden Aspekt. Die maximal mögliche TWW Artenanzahl beträgt 86 Arten, d.h. es wurden 86 Arten als TWW-Arten klassifiziert (vgl. Kapitel 3.2.1). Die maximale Anzahl von Arten, die in einem Untersuchungsquadrat jedoch kartiert wurden, beträgt nur 45 Arten. Die Prognosekarte weist in manchen Gebieten eine maximale Artenzahl von 71 auf, d.h. 26 Arten mehr als je auf einer Fläche gefunden wurden.

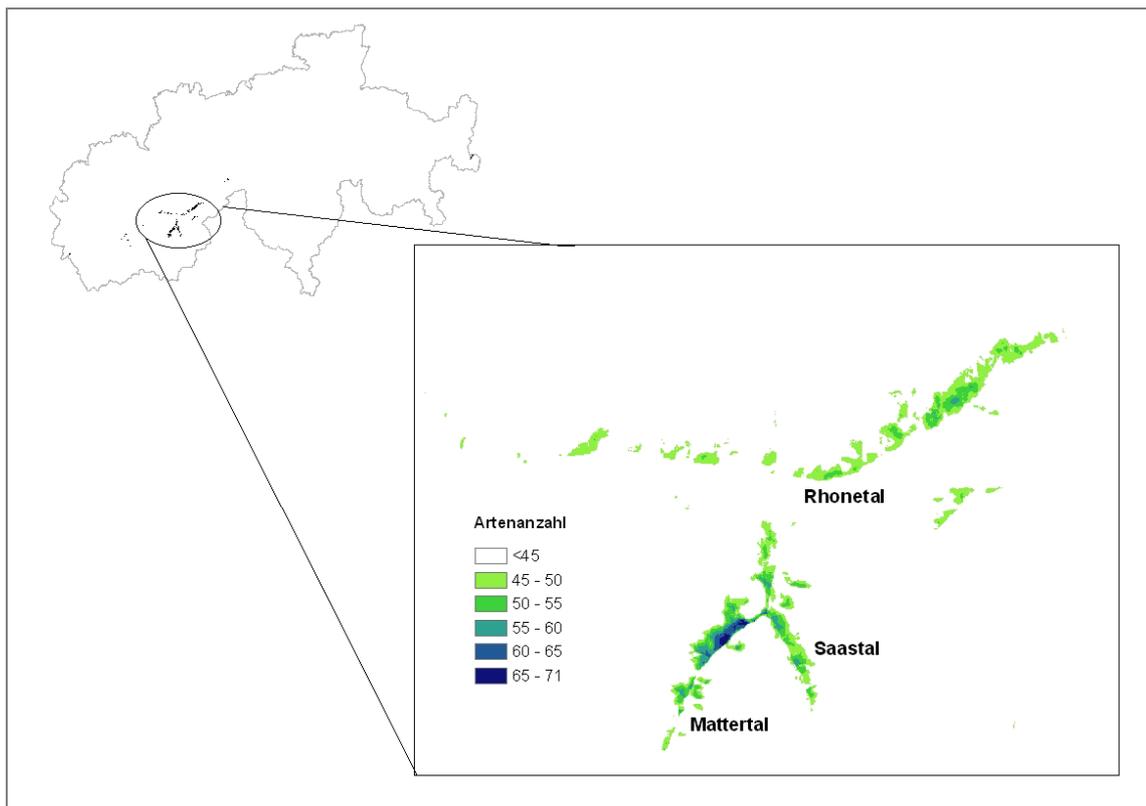


Abbildung 5.17: Gebiet der überschrittenen prognostizierten TWW-Artenzahlen

Die Abbildung 5.17 zeigt einen Ausschnitt mit Gebieten, wo die prognostizierte Artenanzahl 45 Arten übersteigt. Es handelt sich vor allem um die schon sehr artenreichen Gebiete des Rhonetals und der zwei Seitentäler Mattertal und Saastal. Das Zentrum der maximal berechneten Artenzahlen liegt im Mattertal. Interessanterweise haben Altermatt et al. (2008) gerade im Mattertal die grösste Gesamtartenzahl von Tagfaltern (80 Arten) registriert.

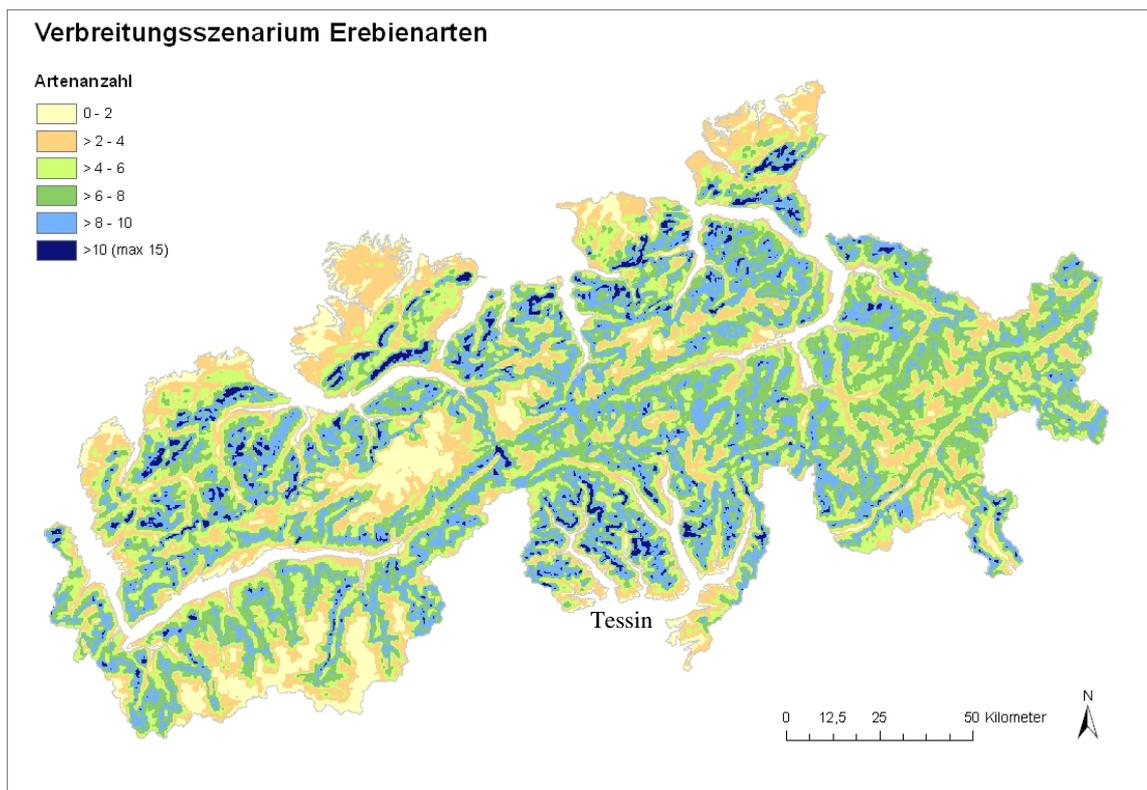


Abbildung 5.18: Verbreitungsszenarium der Erebien Artenanzahlen im Schweizer Alpenraum

Die Vorhersagekarte der Erebien für die Schweizer Alpen zeigt zwei Bereiche mit hohen vorausgesagten Artenanzahlen. Zum einen ist es ein Band, welches sich von Südwesten in den Nordosten zieht (Berner Alpen, Berner Oberland, Zentralschweiz bis zum Rheintal). Zum anderen findet sich ein gehäuftes Gebiet im nördlichen Tessin.

Die vorausgesagten Artenzahlen (max. 15 Arten) bewegen sich im Bereich der maximal kartierten Anzahl. Insgesamt gehören 24 Erebienarten in die Gruppe 2 (vgl. Kapitel 3.2.2). Die maximal tatsächlich gefundene Anzahl in einem Quadrat beträgt 14 Arten.

5.3 Karten der Tagfalterdiversitätsveränderung (Zukunftsszenarien)

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es Diversitätsveränderungen aufgrund von Klimaszenarien darzustellen. Die folgenden zwei Karten zeigen die Voraussagen der potentiellen Diversitätsveränderung der Artenzahlen nach den Klimaprognosen des Bundesamtes für Energie BFE (Schweiz).

Veränderungswerte TWW-Arten

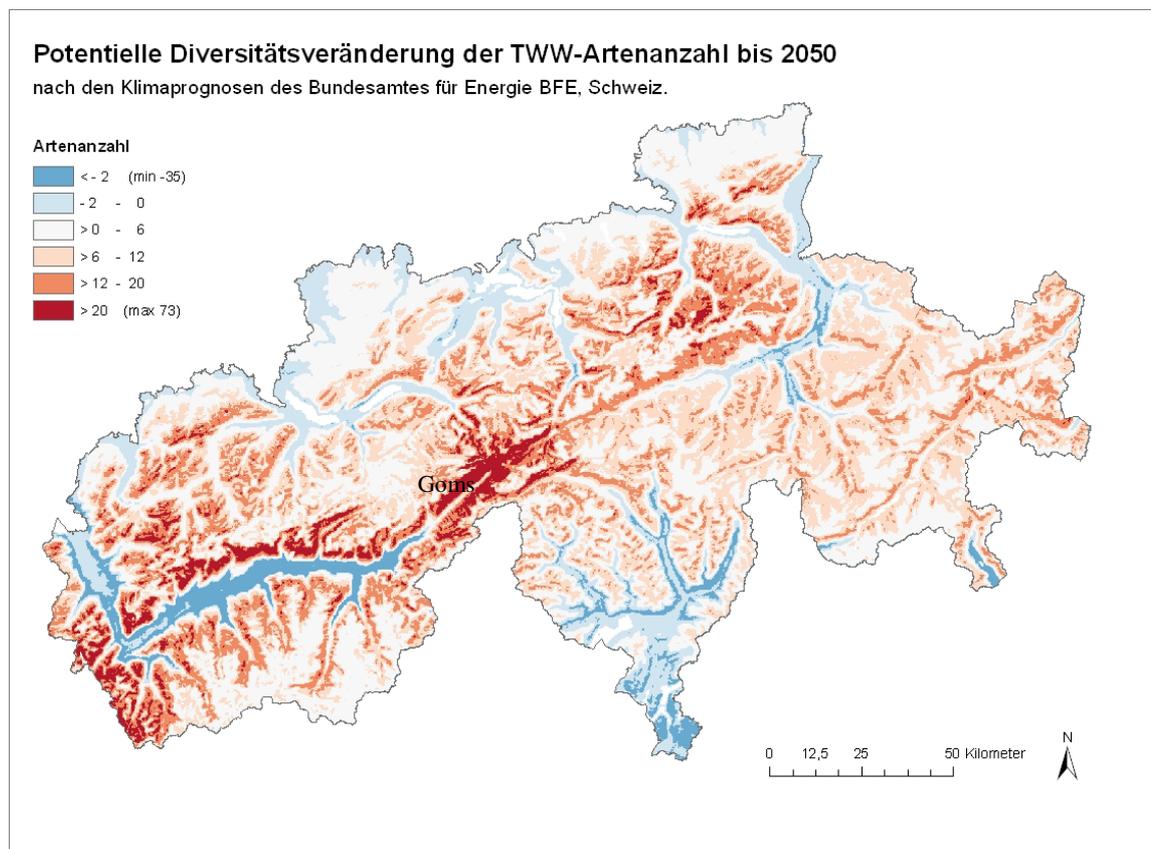


Abbildung 5.19: Voraussage der potentiellen Diversitätsveränderung TWW-Artenzahl bis 2050

Die Karte der Diversitätsveränderungen der TWW-Arten zeigt eine Zunahme der Arten im Wallis, wo jetzt schon die höchsten Artenzahlen gemessen wurden. Eine weitere Zunahme in Richtung Goms und Urserental ist zu erwarten. Eine Abnahme der Arten ist besonders in den Talgebieten und im südlichsten Tessin zu erkennen.

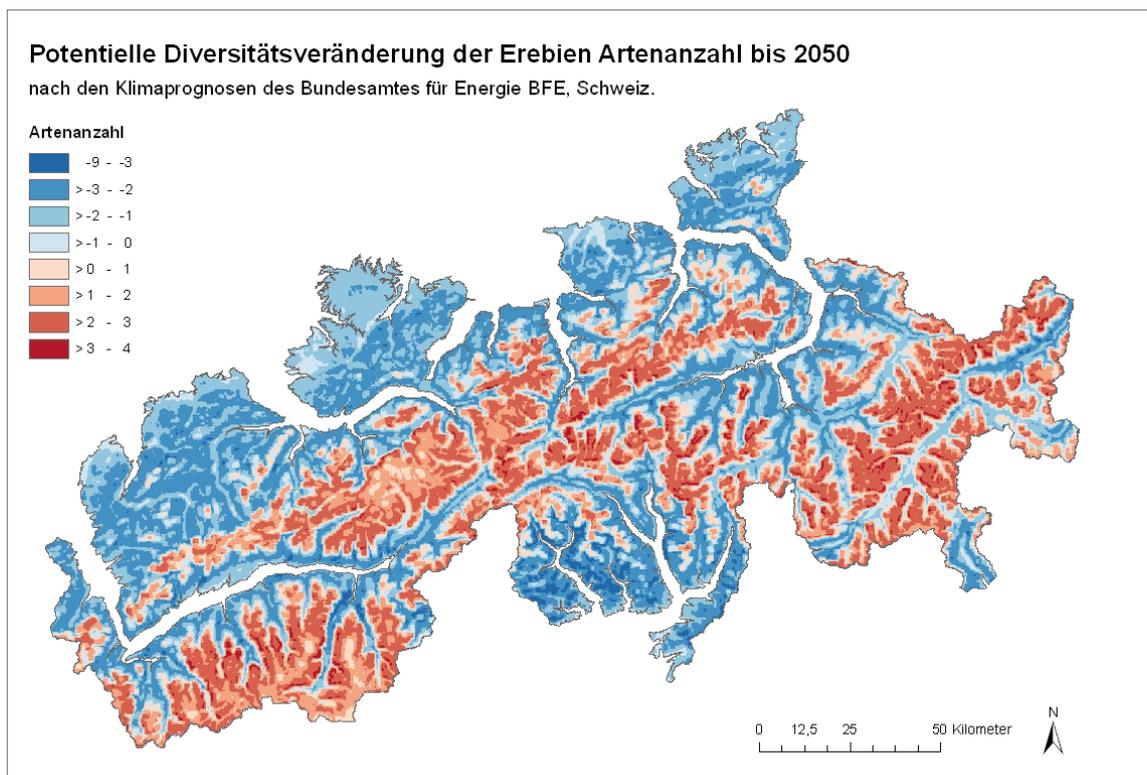


Abbildung 5.20: Voraussage der potentiellen Diversitätsveränderung Erebien bis 2050

Bei der Gruppe der Erebien ist eine klare Abnahme der Arten in tieferen Lagen zu erkennen und eine prognostizierte Artenzunahme in höher gelegenen Gebieten. Die Erebien spiegeln eine Artengruppe der hohen Lagen wider, deren Hauptverbreitung ab ca. 800m ü.M. beginnt¹³. Aus diesem Grund ist es plausibel, dass die Artenzahlen, bei einem prognostizierten Temperaturanstieg bis 2050, in höheren Lagen zunehmen. Die nächste Abbildung 5.21 zeigt zur Veranschaulichung das digitale Höhenmodell der Schweiz.

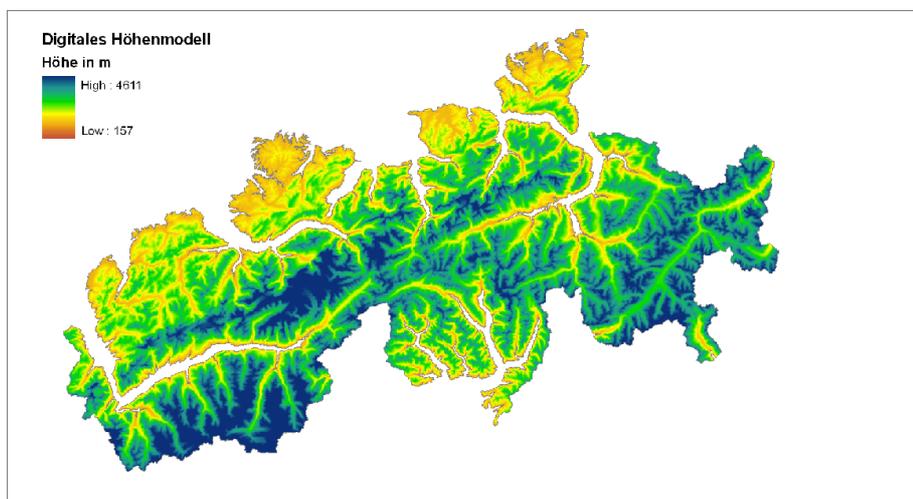


Abbildung 5.21: Digitales Höhenmodell der Schweiz

¹³ Mündl. Mitteilung Florian Altermatt, Tagfalterexperte Hintermann & Weber AG, Feb. 2009

6 Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

6.1 Zusammenfassung

Zentraler Punkt dieser Arbeit ist es mit vorhandenen klimatischen, topographischen und landschaftlichen Variablen die Tagfalterdiversität im Schweizer Alpenraum zu erklären und ein statistisch gut abgesichertes Modell zu erstellen. Zudem sollten bestehende Klimaszenarien angewendet werden, um eventuelle Auswirkungen auf die Diversität aufzuzeigen.

Zu Anfang steht die Auswahl der zu benutzenden Tagfalterdaten im Vordergrund. Alle Tagfalter in einem Modell zu erklären, ist hinsichtlich der verschiedenen Habitatansprüche nicht zu empfehlen. Arten die eine grosse Toleranz aufweisen, würden die Modellierung erschweren. Aus diesem Grund werden zwei Gruppen definiert, die auf spezielle Lebensräume angewiesen sind:

- 1.) Arten der Trockenwiesen und -weiden und
- 2.) die Gattung der Erebien als typische Arten der höheren Regionen.

Nachdem die erklärenden Variablen feststehen, werden sie für die Modellierung aufbereitet. In einem ersten Schritt sind die Variablen nach vier Kategorien (Topographie, Klima, Landbedeckung, wertvolle Biotope) eingeteilt worden. Pro Kategorie und Tagfaltergruppe wurde ein *Generalisiertes Lineares Modell* (GLM) erstellt und anhand des AIC Wertes verglichen. Es hat sich herausgestellt, dass für beide Tagfaltergruppen, gemessen am AIC Wert, die topographischen und die klimatischen Variablen die besten Modelle liefern.

Anschliessend wird aus den vier Kategoriemodellen ein Synthesemodell berechnet. Das Synthesemodell dient dazu die Prognosekarten der Diversität und der Veränderungswerte bei Anwendung von Zukunftsszenarien zu erzeugen.

Die Erstellung der Modelle wird durch diverse Güteüberprüfungen begleitet. Dazu gehört in einem ersten Schritt der Vergleich der Kategoriemodelle anhand des AIC Wertes. Des Weiteren werden nur Variablen in das Modell aufgenommen, die keine starke Korrelation untereinander aufwiesen. Dazu wird der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient verwendet. Ab einem Grenzwert von 0,7 wird nur noch eine der korrelierenden Variablen im Modell behalten.

Grafische Residuenauswertungen sind eine weitere Methode um die Modellgüte zu begutachten. Insbesondere die Grafik der «Residuals vs. Leverage» gibt Aufschluss über mögliche Ausreisser in den Daten. Die Untersuchungspunkte, die eine Cook's Distance von > 1 haben, werden ausgeschlossen. Zu den Residuenauswertungen kommen noch eine interne und eine externe Validierung der Modelle.

Nach den Modellanpassungen infolge der Validierung und der anschliessenden Evaluation werden die Karten der Tagfalterdiversität in einem GIS angefertigt. Die potentiellen Verbreitungskarten der TWW-Arten und Erebien zeigen klare Gebiete, in welchen eine hohe Artenzahl vorausgesagt wird. Diese Hotspots, gerade bei den TWW-Arten, decken sich auch mit Literaturangaben (vgl. Altermatt et al., 2008; SBN, 1987).

Anhand der erstellten Diversitätskarten wurden bestehende Szenarien der Klimaveränderung angewendet, um Veränderungswerte der Tagfalterdiversität zu prognostizieren. Bei den TWW-Arten ist v.a. eine starke Zunahme bis 2050 im Wallis zu erwarten und eine Abnahme der Arten in den Talgebieten. Bei den Erebien ist eine Artenzunahme in höhere Regionen zu erkennen.

6.2 Diskussion

Das Vorgehen beschreibt eine Habitateignungs-Modellierung für eine ganze Insektengruppe: den Tagfaltern. Der Ansatz zeigt wie systematisch aufgenommene Kartierungen, ohne dass der ideale Lebensraum explizit gesucht wurde, Hotspots der Diversität aufzeigen können.

Variablenauswahl

Die Variablenauswahl für eine Habitatmodellierung eines Untersuchungsgebietes in der Grösse von fast 26.000 km² ist eingeschränkt und es stehen oft nicht die Variablen zu Verfügung, die für eine Interpretation interessant sind.

Die Daten der Tagfaltererhebungen vom Biodiversitätsmonitoring Schweiz basieren auf einer sehr guten Grundlage und sind für Auswertungen dieser Grösse gut geeignet. Das Stichprobennetz ist systematisch über die ganze Schweiz verteilt und die Aufnahmen finden immer nach der gleichen Methode und in den gleichen Zeitfenstern statt. Damit bilden die Tagfalterdaten eine sehr gute Grundlage für die Modellierung.

Die erklärenden Variablen sollen wenn möglich aufgrund einer guten Interpretierbarkeit und der Massstab entsprechende Genauigkeit ausgewählt werden. Die Verbreitung von Tagfaltern ist, wie oben schon erwähnt, in erster Linie vom Vorhandensein der Raupenfutterpflanzen abhängig. Leider gibt es keine schweizweiten Datensätze über Vegetationskartierungen. Als Alternative werden die Vektordaten der Landbedeckung (1:25.000) der Swisstopo benutzt und zusätzlich die Variablen der wertvollen Biotope vom Bundesamt für Umwelt. Hier zeigen sich jedoch Unsicherheiten bei der Modellierung sowie bei der externen Validierung. Die Landbedeckungsangaben sind nicht sehr detailliert, so kann z.B. bei der Kategorie «Landwirtschaftsflächen» nicht in intensiv oder extensiv bearbeitete Flächen unterschieden werden. Diese Unterteilung wäre jedoch wahrscheinlich ein wichtiger Hinweis für die Modellierung der Tagfalterdiversität. Trotzdem sollte auf die Landbedeckungsdaten nicht verzichtet werden, da sie immer noch signifikante Werte liefern. Einzig eine Übertragung auf andere Aufnahmejahre scheint mit den jetzigen Synthesemodellen nicht machbar zu sein.

Die Prognosekarten liefern schlüssige Ergebnisse hinsichtlich der benutzten Variablen. Es darf jedoch bei jedem Ergebnis nicht vergessen werden, dass es sich um wahrscheinlichkeitstheoretische Modelle handelt. Es sind nicht unbedingt die vorhergesagten Artenzahlen in dem Gebiet zu finden, sondern es werden potentielle mögliche Artenzahlen gezeigt.

Modellkalibrierung und Evaluation

Um ein Modell zu kalibrieren und anschliessend zu evaluieren, gibt es eine ganze Anzahl von Methoden. Welches die besten sind, ist sehr schwer zu sagen. In dieser

Arbeit werden alle Gütebestimmungen (Kalibrierung und Evaluation) mit dem Statistikprogramm *R* durchgeführt. Dieses bietet eine kostenlose Alternative zu den handelsüblichen Programmen und ist gut dokumentiert. Für die Kalibrierung werden die Residuenplots «Residuals vs. Leverage» benutzt. Anhand dieser Plots werden Aufnahmepunkte sichtbar, die ein Modell stark beeinflussen. In dieser Arbeit werden alle Aufnahmen, die eine «Cook's distance» von > 1 haben ausgeschlossen. Bevor sie ausgeschlossen werden, werden sie jedoch einer kritischen Prüfung unterzogen. Dabei stellte sich heraus, dass die Aufnahmen bei manchen Variablen teilweise Extremwerte aufweisen.

Neben den Residuenauswertungen wird eine interne Validierung durchgeführt. Bei den TWW-Arten liegt der durchschnittliche Fehler der vorausgesagten Artenanzahlen bei 5.8 Arten und bei den Erebien liegt der durchschnittliche Fehler bei 1.9 Arten. Dieses relativ gute Ergebnis darf jedoch nicht überbewertet werden. Durch eine zu grosse Anzahl von erklärenden Variablen oder eine zu kleine Anzahl von Datensätzen besteht die Gefahr der Überanpassung (Overfitting) (Reineking & Schröder, 2004). Auch Harrell (2001) betont, dass eine gute Modellgüte an einer Überanpassung liegen kann. Er weist sogar darauf hin, dass überangepasste Modelle ein Grund für schlechte Vorhersagen sind und einer der häufigsten Gründe für unzuverlässige Modelle.

Bei der externen Validierung wird eine zeitliche Übertragung des Modells überprüft. Dabei werden Daten aus einer fünf Jahre späteren Kartierung benutzt, um das Modell zu prüfen. Es hat sich gezeigt, dass bei den topographischen und klimatischen Variablen grösstenteils Übereinstimmungen vorhanden sind. Hingegen bestehen bei den Landschaftsvariablen Unsicherheiten. Ein Grund kann die geringere Datenmenge der Zweiterhebung sein. Der Datensatz bestand in der Zweiterhebung nur aus ca. 1/5 der Daten.

Datenerzeugung im GIS

Die Modellierung, Validierung und Evaluation werden alle mit dem Statistikprogramm *R* durchgeführt. Die Ergebnisse vom GLM Modell können anschliessend ohne Probleme in das GIS übernommen und als flächige Prognosekarten gerechnet werden. Hingegen ist die grosse Datenmenge des Untersuchungsgebietes ein nicht zu unterschätzendes Problem. Viele Rechnungen wären theoretisch in einem Schritt

möglich gewesen, durch die Datenmenge mussten sie jedoch in viele kleine Teilschritte aufgeteilt werden, was jedoch die Gültigkeit der Ergebnisse nicht schmälert. Im Gegensatz: Durch die vielen Teilschritte konnten unstimmmige Zwischenergebnisse und Fehler bei der Eingabe sofort erkannt werden.

Auch die Generierung der flächigen Polygondaten des Untersuchungsgebietes in Rasterdaten rufen einen sehr hohen Rechenaufwand hervor. Die Berechnung der Medianwerte ist wegen der Gebietsgrösse nicht mehr möglich. So muss bei der Expositionsrechnung von einer Rastergrösse von 25 x 25 m auf 100 x 100 m umgestellt werden.

Verbreitungskarten

Die erstellten Verbreitungsszenarien der Tagfalterdiversität (Abbildung 5.16 und Abbildung 5.18) sehen auf einen ersten Blick schlüssig aus. Die Gebiete mit sehr hohen prognostizierten Artenanzahlen sind auch teilweise in der Literatur als gute Lebensräume mit hoher Artenzahl beschrieben, z.B. die Walliser Felsensteppe. Einzig die hohe vorhergesagte Artenanzahl in manchen Gebieten bei den TWW-Arten (71 Arten) scheint nicht realistisch zu sein. Es wurden im Biodiversitätsmonitoring maximal 45 Arten auf einer Fläche gefunden.

Die Karten der Zukunftsprognosen geben einen ersten Einblick, wie sich die Tagfalterdiversität ändern könnte. Bei den Ereben ist gut zu erkennen, dass die Diversität in Zukunft mit der Höhe zunehmen wird. Es muss jedoch beachtet werden, dass bei den Zukunftsprognosen nur klimatische Faktoren (Temperatur, Niederschlag) eingeflossen sind. Landschaftsvariablen, wie z.B. der Rückgang der Gletscher oder die Verschiebung der Waldgrenze, sind aus Gründen der zum Teil fehlenden Datengrundlage, nicht berücksichtigt worden.

6.3 Ausblick

Die Arbeit gibt einen ersten Eindruck, wie sich die Tagfalterdiversität im Schweizer Alpenraum verteilt. Viele der Hotspots der Diversität decken sich auch mit Angaben aus der Literatur. Wobei jedoch klar gesagt werden muss, dass die Modellierungen eine Prognose der Artenzahlen darstellt und nicht eine tatsächlich vorhandene Artenzahl suggerieren soll. Die Karten sind eine Annäherung an die Bestimmung des potentiellen Habitates. Sie sollen und können keine Detailinformationen liefern.

Zukünftige Weiterentwicklungen dieser Arbeit könnten die Einbeziehung weiterer Zukunftsszenarien, wie z.B. der Gletscherrückgang, die Verbuschung von landwirtschaftlichen Flächen in höheren Lagen oder die Ausbreitung von Siedlungen oder touristischen Gebieten sein. Eine weitere Fortführung ist im Bereich der Tagfalterdaten zu sehen. Die Zweitaufnahme der Tagfaltererhebungen läuft seit 2008 und wird voraussichtlich bis 2012 laufen. Das Biodiversitätsmonitoring verfügt dann über zwei Datensätze pro Untersuchungsquadrat, die methodisch exakt vergleichbar sind und zeitlich im fünf-Jahresrhythmus aufgenommen wurden. Diese Daten können für die Evaluation und für die Überprüfung des Modells oder für Berechnungen eines neuen Modells benutzt werden. Auch das Analysieren von Teilgebieten scheint sehr spannend. Es können gut untersuchte Gebiete (z.B. ein bestimmtes Tal oder eine bestimmte Talregion) mit den prognostizierten Artenzahlen überprüft oder anhand von Feldaufnahmen kontrolliert werden.

Quellenverzeichnis

- Altermatt, F.; Birrer, S.; Plattner, M.; Ramseier, P.; Stalling, T. (2008): Erste Resultate zu den Tagfaltern im Biodiversitätsmonitoring Schweiz. *Entomo Helvetica* 1, S. 75-83
- Austin, M. P. (2002): Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, 157, S. 101–118.
- Bio, A. M. F., De Becker, P., De Bie, E., Huybrechts, W. & Wassen, M. (2002): Prediction of plant species distribution in lowland river valleys in Belgium: modelling species response to site conditions. *Biodiversity and Conservation*, 11(12), S. 2189–2216.
- Bundesamt für Energie BFE (Hrsg.) (2004): Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050 - Ein kurzer Überblick. Bundesamt für Energie BFE, Bern. 8 Seiten.
- Decoursey, D.G. (1992): Developing models with more detail: do more algorithms give more truth? *Weed Technol.* 6, S. 709–715.
- Dormann CF, Blaschke T, Lausch A, Schröder B, Söndgerath D (Hrsg.) (2004): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.
- Eggenberg, S., Dalang, T., Dipner, M., Mayer, C. (2001): Kartierung und Bewertung der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 325. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. 252 S.
- Fielding, A. H. & Haworth, P. F. (1995): Testing the generality of bird-habitat models. *Conservation biology*, 9(6), S. 1466–1481.
- Gonseth, Wohlgemuth, Sansonnens & Buttler (2001): Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandard. Umwelt Materialien Nr. 137, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Bern, 48 Seiten.
- Goovaerts, P. (1998): Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of Soils*, 27(4), S. 315–334.

- Guisan, A., Zimmermann, N. E. (2000): Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135. S. 147–186
- Harrell, F.E., Lee, K.L., Mark, D.B. (1996): Multivariable prognostic models: Issues in developing models, evaluating assumptions and adequacy, and measuring and reducing errors. *Stat. Med.* 15, S. 361–387.
- Harrell, Frank E., J. (2001): *Regression Modeling Strategies - with Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis*. Springer Series in Statistics. Springer, New York.
- Hintermann, U.; Weber, D.; Zangger, A.; Schmill, J. (2002): Biodiversitäts-Monitoring Schweiz BDM. Zwischenbericht, Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL Schriftenreihe Umwelt Nr. S. 342. 89.
- Kohavi, R. (1995): A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Montreal.
- KSBDM Koordinationsstelle Biodiversitätsmonitoring Schweiz (2006): Zustand der Biodiversität in der Schweiz. Umwelt-Zustand Nr. 0604. Bundesamt für Umwelt, Bern. 67 S.
- Lang, S. & Blaschke, T. (2007): *Landschaftsanalyse mit GIS*. Eugen Ulmer Stuttgart. 404 Seiten.
- Lo C. P. & A. K.W. Yeung (2002): *Concepts and Techniques of Geographic Information Systems*. New Jersey.
- Longley P. A., Goodchild M.F., Maguire D. J. & D.W. Rhind (2001): *Geographic Information, Systems and Science*. Chichester, New York.
- McCarthy, M. A., H. P. Possingham, J. R. Day, and A. J. Tyre (2001): Testing the Accuracy of Population Viability Analysis, *Conservation Biology*, 15 (4), S. 1030-1038.
- Niederberger, B. (2008): *Habitatmodellierung der endemischen Landschneckenart Trochulus biconicus*. Master Thesis im Rahmen des Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“. Paris Lodron Universität Salzburg. Unveröffentlicht.
- Reineking, B. & Schröder, B. (2004): Variablenselektion. In: Dormann CF, Blaschke T, Lausch A, Schröder B, Söndgerath D (Hrsg.) (2004): *Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen*. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. UFZ-Berichte 9/2004.

- Rykiel, E.J., Jr. (1996): Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecol. Model.* 90, S. 229–244.
- Sauter, W (1968a): Hilfstabellen zur Bestimmung der europäischen Lycaeniden. *Mitt. Ent. Ges. Basel*, 1.
- Sauter, W (1968b): Zur Zoogeographie der Schweiz am Beispiel der Lepidopteren. *Mitt. Schweiz. Ent. Ges.* 41.
- Sauter, W (1975): Atlas der Schweiz, Blatt 18. Zoogeographie. Eidg. Landestopographie, Wabern, Bern.
- SBN Schweizerischer Bund für Naturschutz (Hrsg.) (1987): Tagfalter und ihre Lebensräume - Arten, Gefährdung, Schutz. Fotorotar, Egg/ZH, 516 S.
- Schröder, B. & Reineking, B. (2004): Modellierung der Art-Habitat-Beziehung – ein Überblick über die Verfahren der Habitatmodellierung. In: Dormann CF, Blaschke T, Lausch A, Schröder B, Söndgerath D (Hrsg.) (2004): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. *UFZ-Berichte* 9/2004.
- Schröder, B. & Reineking, B. (2004b): Validierung von Habitatmodellen. In: Dormann CF, Blaschke T, Lausch A, Schröder B, Söndgerath D (Hrsg.) (2004): Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagungsband zum Workshop vom 8.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. *UFZ-Berichte* 9/2004.
- Steyerberg, E.W., Harrell, Frank E., Jr., Borsboom, G. J. J. M., Eijkemans, M. J. C., Vergouwe, Y. & Habbema, J. D. F. (2001): Internal validation of predictive models – efficiency of some procedures for logistic regression analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 54(8), S. 774–781.
- Wallace, C. S. A., Watts, J. M. & Yool, S. R. (2000): Characterizing the spatial structure of vegetation communities in the Mojave Desert using geostatistical techniques. *Computers And Geosciences*, 26(4), S. 397–410.
- Yee, T. W. & Mitchell, N. D. (1991): Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science*, 2, S. 587– 602.
- Zimmermann, N.E.; Kienast, F. (1999): Predictive mapping of alpine grasslands in Switzerland: Species versus community approach. - *J. Veg. Sci.* 10, S. 469-482.

Anhang

Anhang 1 - Korrelationstabellen

	aspect_ ns	aspect_ ow	slope_ MIN	slope_ MAX	slope_ MEAN	dhm_ MIN	dhm_ MAX	dhm_ MEAN
aspect_ns		-0,075	0,025	-0,035	0,018	0,036	0,042	0,037
aspect_ow	-0,075		-0,064	-0,046	-0,018	0,038	0,032	0,037
slope_MIN	0,025	-0,064		0,181	0,692	0,149	0,276	0,229
slope_MAX	-0,035	-0,046	0,181		0,584	0,165	0,358	0,263
slope_MEAN	0,018	-0,018	0,692	0,584		0,212	0,435	0,343
dhm_MIN	0,036	0,038	0,149	0,165	0,212		0,949	0,982
dhm_MAX	0,042	0,032	0,276	0,358	0,435	0,949		0,985
dhm_MEAN	0,037	0,037	0,229	0,263	0,343	0,982	0,985	

Tabelle A1.1: Korrelationstabelle Topographie – TWW-Arten

	aspect_ ns	aspect_ ow	slope_ MIN	slope_ MAX	slope_ MEAN	dhm_ MIN	dhm_ MAX	dhm_ MEAN
aspect_ns		-0,065	0,006	0,010	0,016	0,036	0,050	0,044
aspect_ow	-0,065		-0,119	-0,024	-0,072	-0,008	-0,010	-0,010
slope_MIN	0,006	-0,119		0,106	0,609	-0,028	0,115	0,063
slope_MAX	0,010	-0,024	0,106		0,599	0,160	0,367	0,268
slope_MEAN	0,016	-0,072	0,609	0,599		0,065	0,333	0,227
dhm_MIN	0,036	-0,008	-0,028	0,160	0,065		0,932	0,974
dhm_MAX	0,050	-0,010	0,115	0,367	0,333	0,932		0,979
dhm_MEAN	0,044	-0,010	0,063	0,268	0,227	0,974	0,979	

Tabelle A1.2: Korrelationstabelle Topographie – Erebien

	Fluss	Gebue	Geroel_aggr	Glet	Landw_aggr	See	Siedl	Sumpf_aggr	Wald	WaldOf
Fluss		-0,150	-0,197	-0,094	0,134	-0,060	0,258	-0,035	0,046	-0,081
Gebue	-0,150		-0,037	-0,265	0,011	-0,109	-0,084	-0,050	0,196	0,252
Geroel_aggr	-0,197	-0,037		0,452	-0,369	0,154	-0,323	-0,148	-0,614	-0,138
Glet	-0,094	-0,265	0,452		-0,447	0,013	-0,170	-0,119	-0,395	-0,187
Landw_aggr	0,134	0,011	-0,369	-0,447		0,065	0,062	0,211	-0,265	0,125
See	-0,060	-0,109	0,154	0,013	0,065		-0,078	0,173	-0,278	0,008
Siedl	0,258	-0,084	-0,323	-0,170	0,062	-0,078		-0,005	0,237	-0,037
Sumpf_aggr	-0,035	-0,050	-0,148	-0,119	0,211	0,173	-0,005		-0,047	0,036
Wald	0,046	0,196	-0,614	-0,395	-0,265	-0,278	0,237	-0,047		0,129
WaldOf	-0,081	0,252	-0,138	-0,187	0,125	0,008	-0,037	0,036	0,129	

Tabelle A1.3: Korrelationstabelle Landbedeckung – TWW-Arten

	Fluss	Gebue	Geroel_aggr	Glet	Landw_aggr	See	Siedl	Sumpf_aggr	Wald	WaldOf
Fluss		-0,041	-0,194	-0,069	0,151	-0,037	0,192	0,069	0,019	0,015
Gebue	-0,041		-0,202	-0,324	0,079	-0,133	0,029	-0,104	0,305	0,204
Geroel_aggr	-0,194	-0,202		0,489	-0,394	0,162	-0,322	-0,185	-0,736	-0,277
Glet	-0,069	-0,324	0,489		-0,507	-0,010	-0,147	-0,144	-0,414	-0,232
Landw_aggr	0,151	0,079	-0,394	-0,507		0,069	0,104	0,252	-0,121	0,165
See	-0,037	-0,133	0,162	-0,010	0,069		-0,013	0,194	-0,269	-0,011
Siedl	0,192	0,029	-0,322	-0,147	0,104	-0,013		0,018	0,243	0,082
Sumpf_aggr	0,069	-0,104	-0,185	-0,144	0,252	0,194	0,018		-0,011	0,033
Wald	0,019	0,305	-0,736	-0,414	-0,121	-0,269	0,243	-0,011		0,243
WaldOf	0,015	0,204	-0,277	-0,232	0,165	-0,011	0,082	0,033	0,243	

Tabelle A1.4: Korrelationstabelle Landbedeckung – Erebien

	fm	fm_1km	fm_2km	hm	hm_1km	hm_2km	tww	tww_1km	tww_2km
fm		0,499	0,353	0,391	0,444	0,353	-0,037	-0,015	0,047
fm_1km	0,499		0,707	0,274	0,431	0,362	-0,016	0,030	0,063
fm_2km	0,353	0,707		0,185	0,323	0,420	0,005	0,058	0,080
hm	0,391	0,274	0,185		0,513	0,353	-0,077	-0,034	0,020
hm_1km	0,444	0,431	0,323	0,513		0,688	-0,117	-0,079	0,040
hm_2km	0,353	0,362	0,420	0,353	0,688		-0,014	0,019	0,104
tww	-0,037	-0,016	0,005	-0,077	-0,117	-0,014		0,463	0,289
tww_1km	-0,015	0,030	0,058	-0,034	-0,079	0,019	0,463		0,624
tww_2km	0,047	0,063	0,080	0,020	0,040	0,104	0,289	0,624	

Tabelle A1.5: Korrelationstabelle wertvolle Biotope – TWW-Arten

	fm	fm_1km	fm_2km	hm	hm_1km	hm_2km	tww	tww_1km	tww_2km
fm		0,507	0,370	0,447	0,518	0,419	-0,021	-0,033	0,047
fm_1km	0,507		0,730	0,266	0,460	0,382	0,039	0,045	0,063
fm_2km	0,370	0,730		0,185	0,340	0,458	0,055	0,078	0,101
hm	0,447	0,266	0,185		0,517	0,356	-0,078	-0,054	0,016
hm_1km	0,518	0,460	0,340	0,517		0,688	-0,110	-0,071	0,059
hm_2km	0,419	0,382	0,458	0,356	0,688		0,038	0,037	0,116
tww	-0,021	0,039	0,055	-0,078	-0,110	0,038		0,486	0,295
tww_1km	-0,033	0,045	0,078	-0,054	-0,071	0,037	0,486		0,607
tww_2km	0,047	0,063	0,101	0,016	0,059	0,116	0,295	0,607	

Tabelle A1.6: Korrelationstabelle wertvolle Biotope – Erebien

	precija _MIN	precija _MAX	precija_ MEAN	precdjf _MIN	precdjf _MAX	precdjf_ MEAN	travejj a_MIN	travejja _MAX	travejja_ MEAN	travedj f_MIN	travedjf _MAX	travedjf _MEAN
precija_ MIN		0,980	0,995	0,436	0,373	0,409	0,220	0,204	0,207	0,229	0,205	0,213
precija_ MAX	0,980		0,993	0,460	0,421	0,446	0,183	0,179	0,176	0,191	0,179	0,181
precija_ MEAN	0,995	0,993		0,447	0,396	0,427	0,203	0,194	0,193	0,212	0,194	0,198
precdjf_ MIN	0,436	0,460	0,447		0,957	0,985	-0,164	-0,193	-0,181	-0,132	-0,168	-0,153
precdjf_ MAX	0,373	0,421	0,396	0,957		0,989	-0,157	-0,136	-0,151	-0,122	-0,108	-0,120
precdjf_ MEAN	0,409	0,446	0,427	0,985	0,989		-0,168	-0,169	-0,176	-0,134	-0,142	-0,145
travejja_ MIN	0,220	0,183	0,203	-0,164	-0,157	-0,168		0,948	0,984	0,991	0,935	0,974
travejja_ MAX	0,204	0,179	0,194	-0,193	-0,136	-0,169	0,948		0,982	0,947	0,992	0,979
travejja_ MEAN	0,207	0,176	0,193	-0,181	-0,151	-0,176	0,984	0,982		0,978	0,969	0,991
travedjf_ MIN	0,229	0,191	0,212	-0,132	-0,122	-0,134	0,991	0,947	0,978		0,949	0,985
travedjf_ MAX	0,205	0,179	0,194	-0,168	-0,108	-0,142	0,935	0,992	0,969	0,949		0,983
travedjf_ MEAN	0,213	0,181	0,198	-0,153	-0,120	-0,145	0,974	0,979	0,991	0,985	0,983	

Tabelle A1.7: Korrelationstabelle Klima – TWW-Arten

	precija _MIN	precija _MAX	precija_ MEAN	precdjf _MIN	precdjf _MAX	precdjf_ MEAN	travejja_ MIN	travejja_ MAX	travejja_ MEAN	travedj f_MIN	travedjf _MAX	travedjf _MEAN
precija_ MIN		0,976	0,995	0,479	0,413	0,449	0,194	0,182	0,188	0,219	0,195	0,208
precija_ MAX	0,976		0,992	0,496	0,457	0,481	0,167	0,177	0,172	0,192	0,188	0,190
precija_ MEAN	0,995	0,992		0,488	0,434	0,465	0,180	0,180	0,179	0,206	0,193	0,199
precdjf_ MIN	0,479	0,496	0,488		0,963	0,987	-0,030	-0,058	-0,042	0,024	-0,016	0,006
precdjf_ MAX	0,413	0,457	0,434	0,963		0,991	-0,032	-0,004	-0,019	0,026	0,041	0,032
precdjf_ MEAN	0,449	0,481	0,465	0,987	0,991		-0,031	-0,027	-0,032	0,027	0,017	0,018
travejja_ MIN	0,194	0,167	0,180	-0,030	-0,032	-0,031		0,929	0,978	0,983	0,907	0,960
travejja_ MAX	0,182	0,177	0,180	-0,058	-0,004	-0,027	0,929		0,974	0,924	0,985	0,967
travejja_ MEAN	0,188	0,172	0,179	-0,042	-0,019	-0,032	0,978	0,974		0,966	0,952	0,983
travedjf_ MIN	0,219	0,192	0,206	0,024	0,026	0,027	0,983	0,924	0,966		0,931	0,979
travedjf_ MAX	0,195	0,188	0,193	-0,016	0,041	0,017	0,907	0,985	0,952	0,931		0,976
travedjf_ MEAN	0,208	0,190	0,199	0,006	0,032	0,018	0,960	0,967	0,983	0,979	0,976	

Tabelle A1.8: Korrelationstabelle Klima – Erebien

Anhang 2 - Scatterplotmatrix

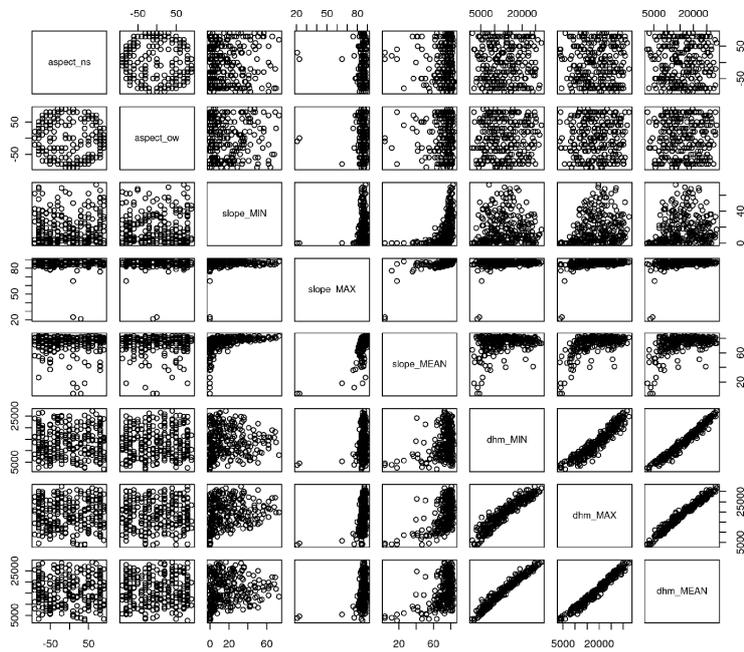


Abbildung A2.1: Scatterplotmatrix Topographie – TWW-Arten

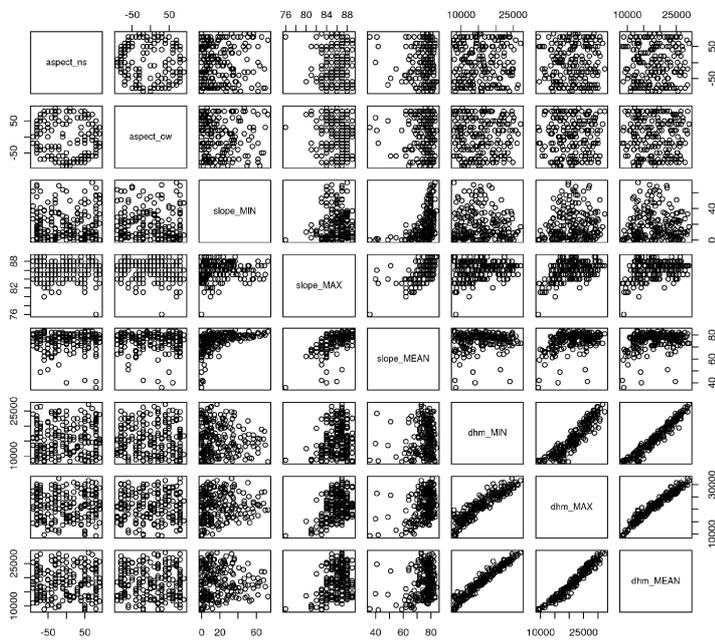


Abbildung A2.2: Scatterplotmatrix Topographie – Erebien

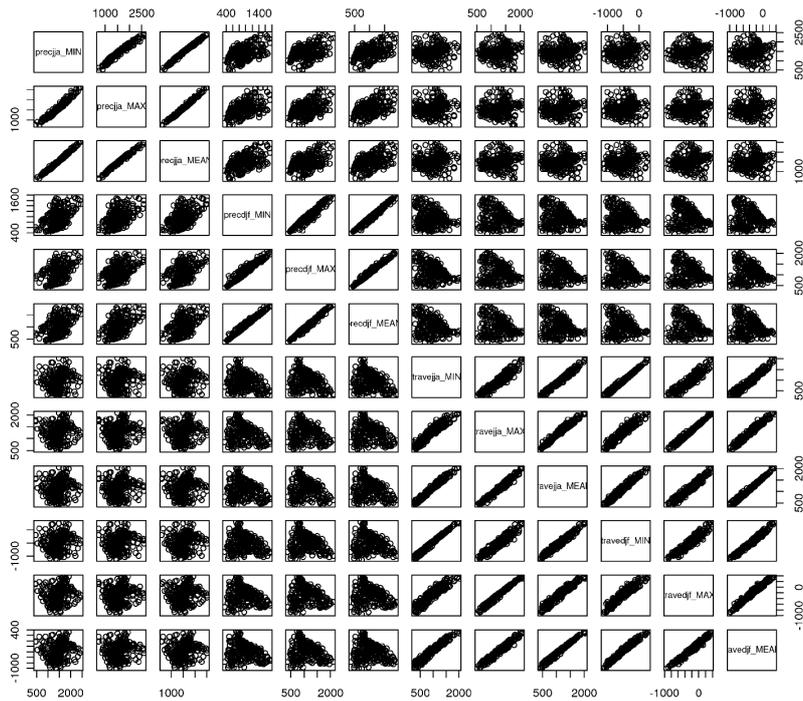


Abbildung A2.3: Scatterplotmatrix Klima – TWW-Arten

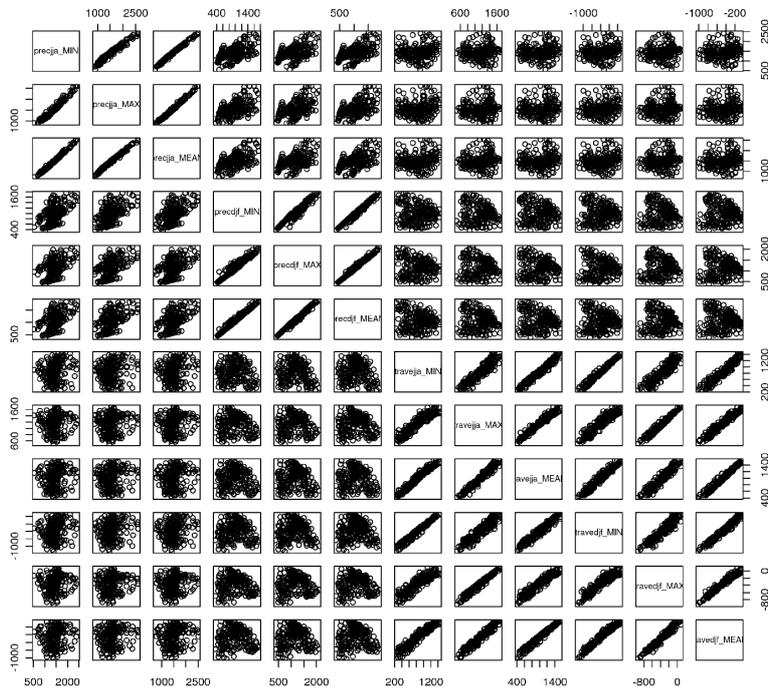


Abbildung A2.4: Scatterplotmatrix Klima – Erbiben

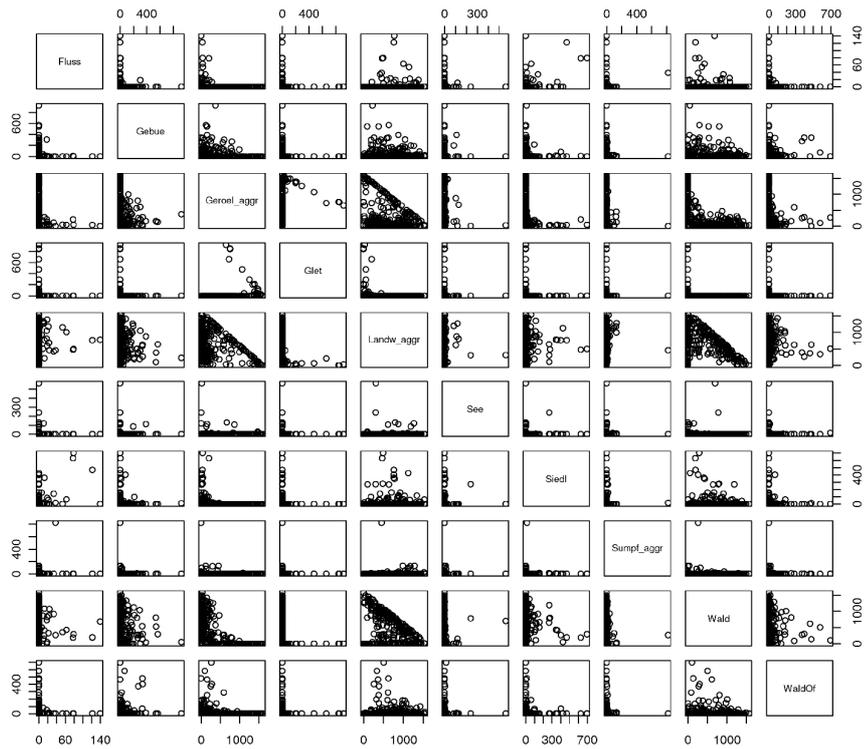


Abbildung A2.5: Scatterplotmatrix Landbedeckung – TWW-Arten

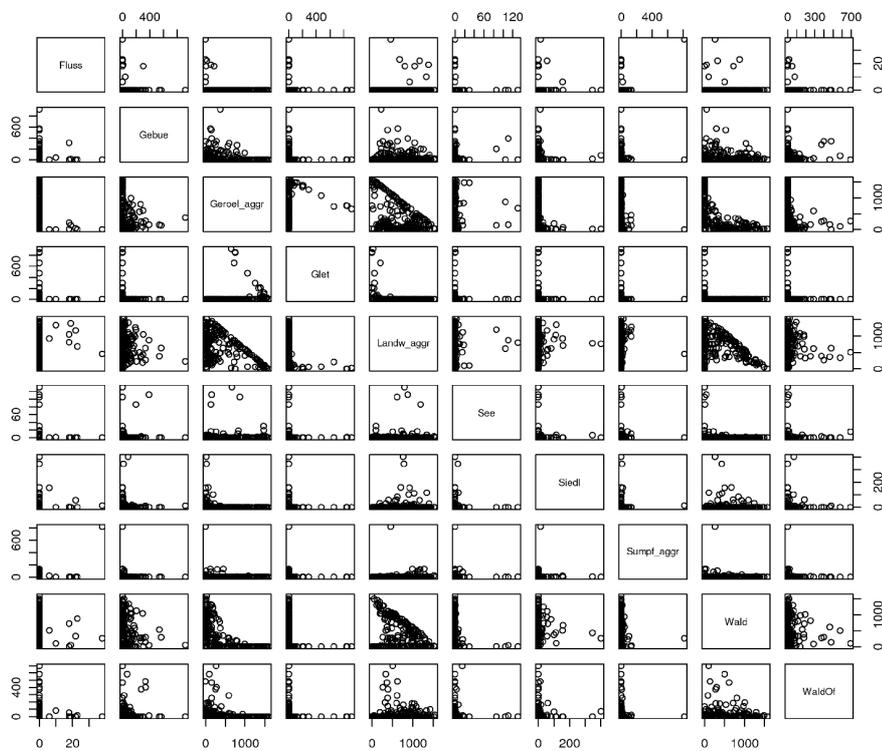


Abbildung A2.6: Scatterplotmatrix Landbedeckung – Erebien

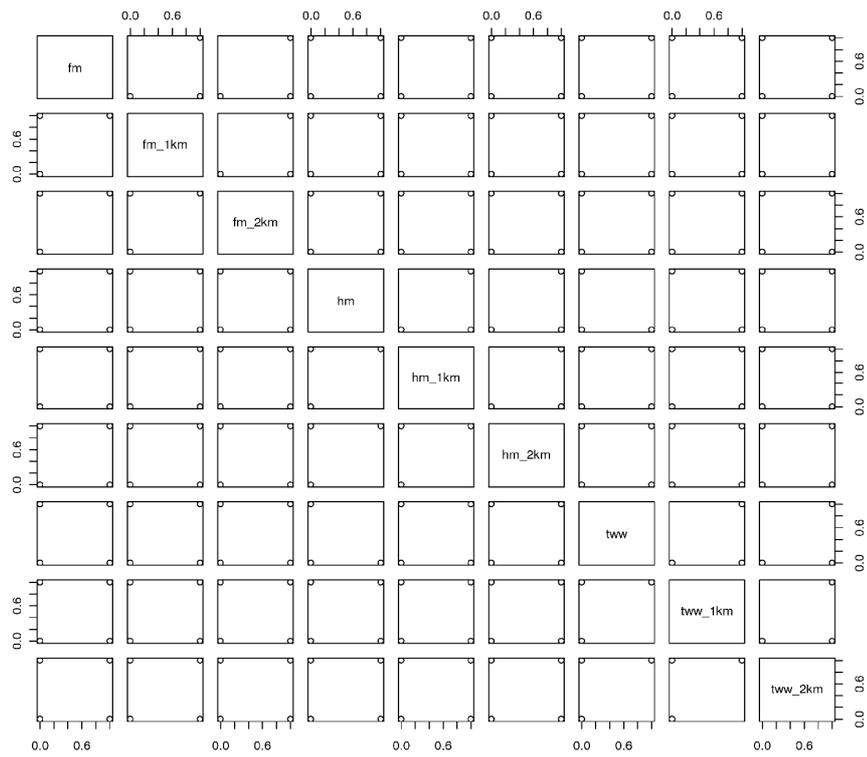


Abbildung A2.7: Scatterplotmatrix wertvolle Biotope – TWW-Arten

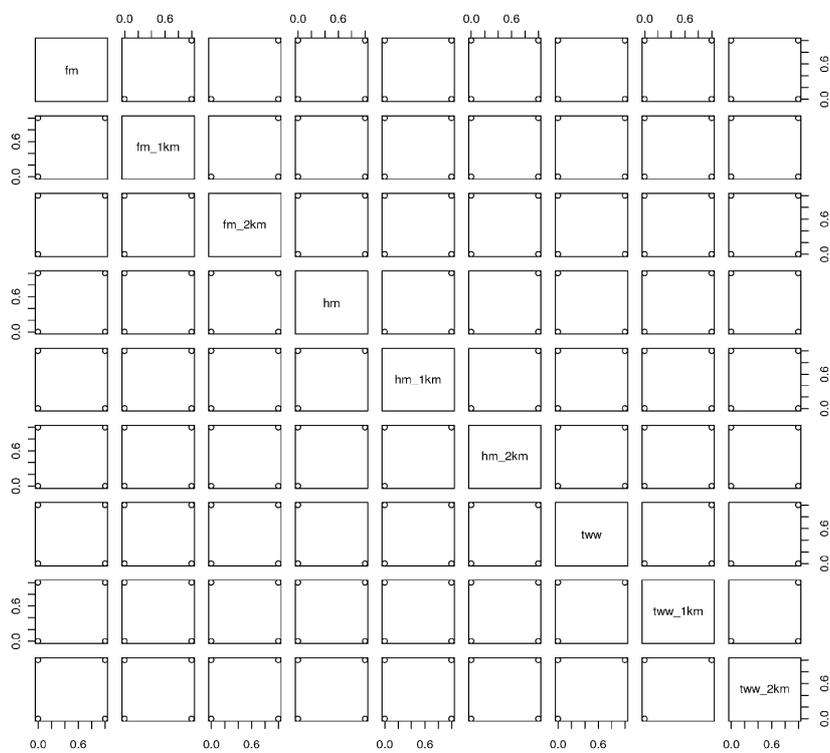


Abbildung A2.8: Scatterplotmatrix wertvolle Biotope – Ereben

Anhang 3 - Ergebnisse GLM Modelle der Kategorien

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept) -	3.456e-01	2.540e-01	1.361	0.1736
aspect_ns	-2.211e-03	2.941e-04	-7.519	5.52e-14 ***
I(aspect_ns^2)	3.777e-05	8.451e-06	4.469	7.85e-06 ***
aspect_ow	6.118e-04	2.940e-04	2.081	0.0375 *
I(aspect_ow^2)	4.551e-05	8.378e-06	5.432	5.56e-08 ***
slope_MEAN	-3.427e-02	8.483e-03	-4.040	5.35e-05 ***
I(slope_MEAN^2)	3.454e-04	6.950e-05	4.970	6.70e-07 ***
dhm_MEAN	4.303e-04	2.164e-05	19.882	< 2e-16 ***
I(dhm_MEAN^2)	-1.508e-08	6.723e-10	-22.424	< 2e-16 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 2033.31 on 263 degrees of freedom				
Residual deviance: 811.55 on 255 degrees of freedom				
AIC: 1886.3				

Tabelle A3.1: GLM Modell TWW-Arten – Topographie

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-5.108e+00	6.016e-01	-8.490	< 2e-16 ***
aspect_ns	-9.903e-04	4.907e-04	-2.018	0.04357 *
I(aspect_ns^2)	-2.605e-05	1.048e-05	-2.485	0.01297 *
slope_MEAN	1.303e-02	4.926e-03	2.644	0.00819 **
dhm_MAX	5.751e-04	5.519e-05	10.421	< 2e-16 ***
I(dhm_MAX^2)	-1.300e-08	1.252e-09	-10.383	< 2e-16 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 313.38 on 208 degrees of freedom				
Residual deviance: 127.21 on 203 degrees of freedom				
AIC: 887.27				

Tabelle A3.2: GLM Modell Erebien – Topographie

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept) -	-1.842e+00	2.553e-01	-7.213	5.48e-13 ***
precjja_MAX	-7.640e-04	5.468e-05	-13.973	< 2e-16 ***
precdjf_MAX	-1.011e-03	2.936e-04	-3.443	0.000575 ***
I(precdjf_MAX^2)	5.712e-07	1.314e-07	4.346	1.39e-05 ***
travejja_MEAN	9.950e-03	4.176e-04	23.828	< 2e-16 ***
I(travejja_MEAN^2)	-3.851e-06	1.721e-07	-22.374	< 2e-16 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 2033.3 on 263 degrees of freedom				
Residual deviance: 984.0 on 258 degrees of freedom				
AIC: 2052.7				

Tabelle A3.3: GLM Modell TWW-Arten – Klima

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept) -	-7.596e-01	2.969e-01	-2.558	0.0105 *
precjja_MEAN	2.091e-04	8.514e-05	2.456	0.0140 *
travejja_MIN	6.806e-03	6.492e-04	10.484	<2e-16 ***
I(travejja_MIN^2)	-4.411e-06	3.986e-07	-11.066	<2e-16 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 313.38 on 208 degrees of freedom				
Residual deviance: 157.60 on 205 degrees of freedom				
AIC: 913.67				

Tabelle A3.4: GLM Modell Erebien – Klima

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept) -	3.616e-02	4.725e-01	0.077	0.93901
Fluss	6.457e-03	3.667e-03	1.761	0.07831 .
I(Fluss^2)	-1.224e-04	3.959e-05	-3.090	0.00200 **
Gebue	3.990e-03	4.957e-04	8.049	8.34e-16 ***
I(Gebue^2)	-3.763e-06	9.530e-07	-3.949	7.86e-05 ***
Geroel_aggr	1.919e-03	3.566e-04	5.382	7.37e-08 ***
I(Geroel_aggr^2)	-1.396e-06	1.670e-07	-8.359	< 2e-16 ***
Landw_aggr	2.760e-03	3.585e-04	7.698	1.38e-14 ***
I(Landw_aggr^2)	-9.764e-07	1.583e-07	-6.166	6.99e-10 ***
Siedl	1.927e-03	3.712e-04	5.191	2.09e-07 ***
Wald	1.110e-03	3.532e-04	3.143	0.00167 **
I(Wald^2)	3.844e-07	1.379e-07	2.787	0.00532 **
WaldOf	4.758e-03	6.219e-04	7.650	2.01e-14 ***
I(WaldOf^2)	-7.847e-06	1.362e-06	-5.761	8.39e-09 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 2033.3 on 263 degrees of freedom				
Residual deviance: 1085.5 on 250 degrees of freedom				
AIC: 2170.2				

Tabelle A3.5: GLM Modell TWW-Arten – Landbedeckung

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.303e+00	9.639e-02	13.522	< 2e-16 ***
Fluss	-1.579e-01	6.620e-02	-2.385	0.017079 *
I(Fluss^2)	7.189e-03	3.222e-03	2.231	0.025672 *
Gebue	2.543e-03	7.084e-04	3.590	0.000331 ***
I(Gebue^2)	-4.599e-06	1.827e-06	-2.517	0.011847 *
Geroel_aggr	1.374e-03	2.148e-04	6.399	1.57e-10 ***
I(Geroel_aggr^2)	-8.937e-07	1.695e-07	-5.273	1.35e-07 ***
Glet	-7.648e-04	3.265e-04	-2.343	0.019150 *
Landw_aggr	3.405e-04	9.363e-05	3.636	0.000276 ***
WaldOf	1.105e-03	2.482e-04	4.454	8.42e-06 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 313.38 on 208 degrees of freedom				
Residual deviance: 186.34 on 199 degrees of freedom				
AIC: 954.4				

Tabelle A3.6: GLM Modell Erebien – Landbedeckung

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	2.17853	0.03810	57.184	< 2e-16 ***
tww	0.36707	0.04285	8.567	< 2e-16 ***
tww_1km	0.21799	0.04623	4.716	2.41e-06 ***
tww_2km	0.33377	0.05294	6.305	2.89e-10 ***
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 2033.3 on 263 degrees of freedom				
Residual deviance: 1667.1 on 260 degrees of freedom				
AIC: 2731.8				

Tabelle A3.7: GLM Modell TWW-Arten – wertvolle Biotope

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.78254	0.04268	41.763	< 2e-16 ***
-				
fm_2km	0.12703	0.05887	2.158	0.03094 *
hm_1km	-0.28774	0.10073	-2.856	0.00428 **
tww_1km	0.11766	0.05522	2.131	0.03311 *
Signif. codes:	0 '***'	0.001 '**'	0.01 '*'	0.05 '.'
Null deviance: 313.38 on 208 degrees of freedom				
Residual deviance: 296.72 on 205 degrees of freedom				
AIC: 1052.8				

Tabelle A3.8: GLM Modell Erebien – wertvolle Biotope