



Universität für Bodenkultur Wien

Eine Pilotstudie für ein Fotofallen-Monitoring von Rotfüchsen (*Vulpes vulpes*) im Schweizerischen Nationalpark

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science
im Rahmen des Studiums Wildtierökologie und Wildtiermanagement

Eingereicht von: Sibyll Bachmann
Matrikelnummer: 1478690

Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft (IWJ)
Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung

Betreuer:

Univ.Prof. Dr. Klaus Hackländer
Universität für Bodenkultur, Wien

Dr. Alfred Frey-Roos
Universität für Bodenkultur, Wien

Dr. Flurin Filli
Schweizerischer Nationalpark, Zernez

Sent, August 2017





Universität für Bodenkultur Wien

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen genutzt habe als jene, die im Text und in der Literaturliste erwähnt werden. Ich erkläre weiters, dass alle Personen und Institutionen, die direkt oder indirekt bei der Erstellung der Arbeit geholfen haben, erwähnt sind und dass die Arbeit oder Teile davon an keiner anderen Institution als Abschlussarbeit eingereicht worden ist.

Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Betreuern Univ.Prof. Dr. Klaus Hackländer, Dr. Alfred Frey-Roos und Dr. Flurin Filli für die Ermöglichung dieser Masterarbeit, die Unterstützung und die aufschlussreichen Gespräche bedanken.

Mein Dank gilt auch dem Team des Schweizerischen Nationalparks für die Hilfe beim Transportieren, Aufstellen und Abräumen des Materials, wie auch für die anregenden Gespräche. Für die Zusammenarbeit bei der Organisation, Ausführung und Analyse der Feldarbeit gilt mein besonderer Dank Dr. Pia Anderwald und Thomas Rempfler.

Für die Bereitstellung der 80 Fotofallen und des dazugehörigen Materials sowie der unkomplizierten Kommunikation bedanke ich mich bei den Mitarbeitern von KORA. Für das Fischöl, welches durch die Garant Tiernahrung GmbH (Aschach/D, Österreich) gratis zur Verfügung gestellt und kostenlos zugesendet wurde, bedanke ich mich auch herzlich.

Weiter bedanke ich mich bei mehreren Einzelpersonen, welche mir mit interessanten Inputs bei den statistischen Analysen weitergeholfen haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und Freunden für die Unterstützung während der Feldarbeit und die Geduld und motivierenden Worte während den Analysen und der Endfassung der Arbeit.

Ein letztes persönliches Dankeschön gilt meiner Schwester Silvana Bachmann und Adrian Viletta für die Korrekturlesung dieser Arbeit.

Abstract

The Swiss National Park is running a long-term monitoring with different subprojects including a study that uses camera traps and is focused on red foxes (*Vulpes vulpes*). To investigate the spatial distribution of the foxes and its alteration over time the software PRESENCE is used. This enables the estimation of the detection probability and the site occupancy. The shift in the site occupancy over the years, allows to observe the dynamics in the spatial distribution of the foxes. To estimate the detection probability, a site history is created by revisiting the placements of the camera traps over a certain period of time. This creates presence-absence data and the use of the site histories allows an accurate approximation of the parameters. This master thesis is a pilot study for the future monitoring by camera traps and is aiming to obtain the optimal methods for the long-term monitoring by maximizing the detection probability. This includes the determination of optimal camera sites, the effect of an olfactory bait (fish oil) and the amount of necessary cameras per square km. To do so 15 squares of 1km² were defined as study area. Four cameras were set per square, three with fish oil and one without. The cameras were controlled every two weeks over a total of ten weeks. The preselection didn't show any distinct results. The variables with the highest relative variable importance were the amount of precipitation, fish oil, the elevation above sea level, forest, the slope, temperature and the distance to the hiking trails. The model selection by using the package *unmarked* in R confirmed the results of the preselection. The results support the classification of the red fox as a generalist. The analysis to define the amount of necessary camera traps per square was more obvious. With a decreasing number of cameras, the detection probability declined. Inverse, the standard error of the site occupancy was increasing with a decreasing number of cameras. The results further showed that a single camera per square would be sufficient if the camera is set at an optimal spot. For the future long-term monitoring, a spatial and temporal expansion is planned. Due to the unclear results it is not possible to give a final advice for the optimal setting of the cameras traps. The method used in the future long-term monitoring is a chance to use presence-absence in an alternative way and to observe the dynamics of the spatial distribution over the years. The method is especially suitable if the target species uses a large home range, behaves cryptic and is difficult to recognize individually as the fox does.

Zusammenfassung

Der Schweizerische Nationalpark plant im Rahmen eines Langzeit-Monitorings die Durchführung verschiedener Teilprojekte, wobei ein Fotofallen-Monitoring mit dem Fokus auf den Rotfuchs (*Vulpes vulpes*) eines der Teilprojekte darstellt. Um die Veränderung der räumlichen Verteilung des Fuchses zu untersuchen, wird im zukünftigen Monitoring die Software PRESENCE genutzt. Diese ermöglicht die Ermittlung der Erfassungswahrscheinlichkeit (*Detection Probability*) pro Flächeneinheit. Dadurch kann das Vorkommen der Zielart pro Flächeneinheit (*Site Occupancy*) geschätzt und dessen Veränderung im Verlauf der Jahre beobachtet werden. Um die erwähnte Erfassungswahrscheinlichkeit zu ermitteln, wird durch das mehrmalige Kontrollieren eines einzelnen Fallenstandortes eine Fallengeschichte erzeugt. Dadurch werden Präsenz-Absenz Daten gesammelt. Diese Masterarbeit gilt als Pilotstudie für das Fotofallen-Monitoring im Schweizerischen Nationalpark und soll die optimale Methodik für die Ausführung des Langzeit-Monitorings und damit die Maximierung der Erfassungswahrscheinlichkeit erzielen. Dies beinhaltet die Ermittlung der optimalen Standorte für die Fotofallen, die Untersuchung der Wirkung von Fischöl als olfaktorisches Lockmittel und die Ermittlung der Anzahl nötiger Fallen pro Flächeneinheit. Um dies umzusetzen, wurden 15 x 1km²-Quadrate als Untersuchungsgebiet im Schweizerischen Nationalpark festgelegt. Pro Quadrat wurden vier Fotofallen aufgestellt. Bei drei der Fallen wurde ein Lockpfosten mit Fischöl und bei einer Falle nur ein Lockpfosten ohne Fischöl angebracht. Die Modell-Selektion mittels dem Paket *unmarked* in R Statistik bestätigten die Resultate der Vorselektion. Durch die Analysen zu der Anzahl nötiger Fotofallen pro Quadrat war sichtbar, dass mit einer optimal gesetzten Fotofalle, eine pro Quadrat ausreichen würde. Durch die unklaren Resultate der Modell-Selektion ist es jedoch schwer, eine Empfehlung für die optimale Standortwahl zu formulieren. Die für das zukünftige Langzeit-Monitoring genutzte Methode ist eine Chance Präsenz-Absenz Daten alternativ und bestmöglich zu nutzen. Besonders bei einer Zielart wie dem Rotfuchs, der eine grossräumige Raumnutzung nachweist, eher selten gesichtet wird und individuell schwer zu unterscheiden ist, stellt die Methode eine gute Möglichkeit dar, die Dynamiken in der räumlichen Verteilung im Verlauf der Jahre beobachten zu können.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Abstract	II
Zusammenfassung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
1 Einleitung.....	1
2 Material und Methoden	5
2.1 Der Rotfuchs (<i>Vulpes vulpes</i>): Habitatansprüche, räumliches Verhalten und der Geruchssinn	5
2.2 Die Software PRESENCE.....	6
2.3 Feldarbeit.....	7
2.3.1 Untersuchungsgebiet.....	8
2.3.2 Ausführung der Feldarbeit.....	11
2.4 Beschreibung der Standortvariablen und der abhängigen Variablen.....	11
2.5 Softwares und Programme.....	13
2.6 Anmerkungen zum Datum der Foto-Aufnahmen.....	13
2.7 Statistische Auswertungen	13
2.7.1 Einfluss der Standortvariablen	14
2.7.2 Räumliche Autokorrelation	17
2.7.3 Anzahl Fotofallen pro Quadrat	17
3 Resultate	19
3.1 Allgemeine Angaben.....	19
3.2 Auswertungen zu den unabhängigen Variablen	22
3.2.1 Vorselektion GLMM.....	22
3.2.2 Modell-Selektion Paket <i>unmarked</i>	26
3.3 Räumliche Autokorrelation	28
3.4 Anzahl Fotofallen pro Quadrat	29
3.4.1 Veränderung der Erfassungswahrscheinlichkeit γ_i	29
3.4.2 Veränderung im Standardfehler des Vorkommens Ψ_i	30
4 Diskussion.....	33
4.1 Beeinflussende Standortvariablen	33
4.2 Lockmittel Fischöl	35
4.3 Anzahl Fotofallen pro Quadrat	37
4.4 Anmerkungen zur Methode	38

5	Ausblick und Schlusswort	40
6	Literaturverzeichnis.....	41
7	Abbildungsverzeichnis.....	45
8	Tabellenverzeichnis.....	47
9	Anhang	48
9.1	Nummerierung der Fotofallenstandorte.....	48
9.2	Allgemeine Angaben.....	49
9.3	Vorselektion.....	51
9.4	Paket unmarked.....	54
9.5	Autokorrelation	57

1 Einleitung

Der Schweizerische Nationalpark (SNP) plant für den Zeitraum der nächsten 20 Jahre die Durchführung eines Langzeit-Monitorings für Meso- und Kleinkarnivoren mit Fokus auf den Rotfuchs (*Vulpes vulpes*). Das Monitoring-Projekt beinhaltet mehrere Teilprojekte, welche das Vorkommen, die Streifgebietsgrößen, die Aktivitätsmuster sowie die Nahrungszusammensetzung des Rotfuchses im SNP bestmöglich beschreiben sollen (Anderwald 2016). Das Ziel ist demnach in erster Linie die Rolle des Fuchses in der Trophischen Kaskade zu beschreiben und die Veränderung der räumlichen Verteilung über die Jahre zu ermitteln. Das Fotofallen-Monitoring ist eines dieser Teilprojekte und soll zur Ermittlung der räumlichen Verteilung des Rotfuchses im SNP beitragen. Das Jahr 2016 gilt als Pilotphase, welche die Optimierung der Methodik für das Langzeit-Monitoring ab 2017 zum Ziel hat.

Seit der Entstehung des SNP im Jahr 1914 wurden mehrheitlich Daten zur Vegetation und Huftieren gesammelt und ausgewertet. Eine ausführliche und grossräumige Datenaufnahme zu Meso- und Kleinkarnivoren fehlt bisher. Das Vorhandensein von Fuchs und Marderartigen im Nationalpark ist bekannt. Zur Häufigkeit und tatsächlichen Verteilung sind jedoch nur wenige Informationen vorhanden. Mit dem Langzeit-Monitoring möchte der Nationalpark die Jetzt-Situation festhalten und die möglichen Veränderungen im Verlaufe der Jahre untersuchen.

Die zunehmende Rückkehr und Etablierung der Grossraubtiere (Wolf, Luchs, Bär) könnte eine solche Veränderung herbeirufen und wird in den nächsten Jahren auch vermehrt im Engadin erwartet. Dies wird besonders auf die Ökosysteme und Ihre Bewohner und Akteure einen Einfluss haben. Es entsteht eine interessante Situation, welche sich womöglich direkt oder indirekt auf die Wildtiere auswirken kann. Der Schweizerische Nationalpark gilt als ideales Untersuchungsgebiet, da seit über 100 Jahren im Grossteil des Parks der Mensch nicht mehr eingegriffen hat und die Nutzung nur sehr beschränkt möglich ist. Die Flora und Fauna sind durch die langjährigen natürlichen Prozesse des alpinen Raumes geprägt. Umso interessanter ist die Frage, wie sich die Rückkehr der Grossraubtiere auf die Trophische Kaskade und die räumliche Verteilung der Arten im Nationalpark auswirken wird. Prädatoren, die in der Nahrungskette ganz oben stehen, können verschiedene Einflüsse auf Wildtiere und die vorhandene Vegetation haben (Ripple und Beschta 2012). Nicht nur

Huftiere sind davon betroffen, sondern auch Meso- und Kleinkarnivoren, wie die Rotfüchse und Marderartige, können bei deren Anwesenheit sowohl direkt durch Prädation wie auch indirekt durch die Veränderung der Raumnutzung oder als Nahrungskonkurrent beeinflusst werden. Dies wiederum kann auch die Beutetiere der Meso- und Kleinkarnivoren im Verhalten und Bestand verändern (Patalano und Lovari 1993; Berger *et al.* 2008). Füchse können beispielsweise auch im Nahrungsspektrum von Luchsen vorkommen (Molinari-Jobin *et al.* 2007). Umgekehrt können Füchse auch von den Rissen von Wölfen und Bären profitieren (Zeiler 2016). Die sich verändernde Situation im Engadin könnte sich einerseits auf die Trophische Kaskade als auch auf die räumliche Verteilung der Arten im SNP auswirken.

Die geplante Langzeitstudie ermöglicht auch Einflüsse von klimatischen Veränderungen zu untersuchen. Insbesondere der im Winter immer öfters fehlende oder zumindest reduzierte Schnee (Beniston *et al.* 2003) kann einen Einfluss auf die räumliche Verteilung des Rotfuchses haben. Capt und Stalder (1991) zeigen in Ihrer Studie über die Raumnutzung von Rotfüchsen im alpinen Raum, dass einige Füchse ihre Streifgebiete im Winter in tiefere Lagen verschieben oder diese zumindest verkleinern. Dies kann mit der zunehmend klimatischen Veränderung in Zukunft eine Veränderung der Raumnutzung, womöglich eine bergwärts Verschiebung im Winter, der Rotfüchse bewirken. Nicht nur die Langzeiteffekte von klimatischen Veränderungen könnte daher interessant sein, sondern auch die räumliche Verschiebung während des Jahres.

Die statistischen Methoden zur Nutzung von Fotofallen und damit von Präsenz-Absenz Daten haben sich in den letzten 15 Jahren rasant weiterentwickelt und zeigen ein grosses Potential (Vojta 2005). Diese Methoden werden immer häufiger eingesetzt um Populationsparametern, wie die Erfassungswahrscheinlichkeit (*Detection Probability*) oder das Vorkommen einer Tierart in einer bestimmten Flächeneinheit (*Site Occupancy*), genauer einzuschätzen. Der Aufwand für die Ausführung der Feldarbeit und die Datenverwaltung ist zeitlich und organisatorisch meist durch Einzelpersonen machbar. Im Vergleich zu anderen Methoden ist es möglich, eine relativ hohe Datenmenge zu erhalten, ohne dabei das Tier zu fangen oder durch die Anwesenheit des Menschen stark zu stören (O'Connell *et al.* 2011). Die in diesem Monitoring gebrauchten Fotofallen sind nicht artspezifisch, das heisst es kann je nach Position der Fallen, Jahreszeit und Zufall ein breites Spektrum an Arten

nachgewiesen werden. Weiter brauchen Fotofallen wenig Strom und können einfach und ohne viel Aufwand über einen längeren Zeitraum im Feld bleiben. Dennoch sollten auch die negativen Aspekte nicht ausser Acht gelassen werden. Die Aufnahmen der Fallen sind meist nicht optimal und die Identifizierung der Art, geschweige des Individuums, stellt sich oftmals als schwierig dar (Bsp. Stein- und Baumrarder). Ausserdem können bereits geringe Temperaturunterschiede die Wirksamkeit des Sensors der Fotofalle beträchtlich beeinflussen (O'Connell *et al.* 2011). Da die Fallen nicht täglich kontrolliert werden, kann es auch sein, dass eine beschädigte Fotofalle über einen längeren Zeitraum im Feld bleibt, ohne den Schaden an der Falle zu bemerken.

Das im SNP durchgeführte Fotofallen-Monitoring basiert auf der Software PRESENCE (MacKenzie *et al.* 2002), welche sich die sogenannte Fallengeschichte (*Site History*) zu nutzen macht und dadurch die Unterschätzung von Präsenz-Absenz Daten vermeidet. Diese Methode ermöglicht keine Abschätzung zur absoluten Grösse einer Population, sondern schätzt die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens der Zielart auf einer bestimmten Flächeneinheit (MacKenzie *et al.* 2006). Dies kann im Verlauf der Jahre genutzt werden, um die Veränderung der räumlichen Verteilung der Tierart zu ermitteln. Die Software und die Methode, auf welcher diese basiert, werden im Abschnitt 2.2 näher dargestellt.

Im Rahmen des geplanten Langzeit-Monitorings dient diese Masterarbeit als Pilotstudie für das Fotofallen-Monitoring der Rotfuchse. Das Studiendesign der Pilotstudie basiert auf der zukünftigen Ausführung der Feldarbeit, welche sich nach der Software PRESENCE (MacKenzie *et al.* 2002) richtet. Mithilfe der Pilotstudie soll die vorgegebene Fotofallen-Methode getestet und bewertet und die optimale Verteilung der Fotofallen sowie die Anzahl zu verwendender Fotofallen pro Quadrat ermittelt werden. Zusätzlich wird der Einfluss der Nutzung eines olfaktorischen Lockmittels, hier Fischöl, getestet.

Daraus ergeben sich folgende Fragestellungen:

- Welche Standortvariablen beeinflussen die Erfassungswahrscheinlichkeit des Rotfuchses?
- Hat Fischöl als Lockmittel eine Wirkung auf die Erfassungswahrscheinlichkeit des Rotfuchses?
- Wie verändert sich die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit einer variierender Anzahl Fotofallen pro Quadrat bzw. wie wirkt sich diese auf den Standardfehler des Vorkommens aus?

2 Material und Methoden

2.1 Der Rotfuchs (*Vulpes vulpes*): Habitatansprüche, räumliches Verhalten und der Geruchssinn

Der Rotfuchs kommt gross- wie auch kleinräumig in einem vielfältigen Lebensraum vor. Er besitzt eine enorme Anpassungsfähigkeit und kann als Überlebenskünstler bezeichnet werden (Labhardt 1990). Trotz seiner Popularität wird der Fuchs in den Bergregionen nicht sehr oft beobachtet und eher als heimlich lebend eingestuft. Er ist ein Generalist und hat im Vergleich zu anderer Karnivoren ein sehr breites Nahrungsspektrum (Labhardt 1990). Auch in den Bergregionen können Rotfüchse in den verschiedensten Habitaten und Höhenstufen vorkommen. Im Nationalpark Hohen Trauern (Österreich) konnten beispielsweise Füchse bis zu einer Höhe von 2700 m über Meer beobachtet werden (Zeiler 2016).

Die Streifgebietsgrösse ist je nach Gebiet sehr unterschiedlich und hängt vom Nahrungsangebot ab (MacDonald 1979; Capt und Stalder 1991). In unbewohnten Gegenden oder in den alpinen Räumen ist das Raumverhalten der Bergfüchse im Vergleich zu den Stadtfüchsen unterschiedlich. Meist steht in alpinen Regionen weniger Nahrung zur Verfügung, was zu entsprechenden Streifgebietsgrössen führt. Bergfüchse nutzen folglich oft grosse Streifgebiete (Perrine 2005). Diese können dennoch stark variieren. Zudem kann die Raumnutzung in alpinen Lagen je nach Individuum saisonal ändern. Abhängig vom Individuum kann der Aufenthaltsraum stabil sein und eine relativ kleine Streifgebietsfläche beinhalten (<50 ha). Andere Individuen zeigen eine stabile Streifgebietsfläche, verkleinern diese jedoch im Winter. Es werden auch Füchse beobachtet, welche ihr Streifgebiet im Winter in tiefere Lagen verlagern, wobei dann im Frühling wiederum eine Verschiebung bergwärts beobachtet werden kann. (Capt und Stalder 1991).

Beim Fuchs ist der Geruchssinn der wichtigste Orientierungssinn. Die Wahrnehmungsleistung ist enorm und spielt bei der Feindvermeidung, dem Sozialverhalten und dem Nahrungserwerb eine wichtige Rolle (Labhardt 1990). Beispielsweise wird der Geruchssinn für die Erkennung fremder Individuen zunutze gemacht. Falls Territorien vorhanden sind, werden Markierungen durch Urinieren, sowohl durch Rüden als auch durch Fähen, durchgeführt, wobei saisonale Unterschiede beobachtet werden können (Fawcett *et al.* 2013). Füchse gehören zu den sogenannten Makrosmaten. Diese sind Tierarten, die

Gerüche sehr gut wahrnehmen, da die Fläche auf der sich die Riehzellen befinden, besonders gross ist.

2.2 Die Software PRESENCE

Die Auswertungen des geplanten Langzeit-Monitoring werden mittels der Software PRESENCE (MacKenzie *et al.* 2002) erfolgen. Diese basiert auf der Nutzung eines erweiterten Ansatzes von Präsenz-Absenz Daten. Sie dient dazu eine Schätzung zur sogenannten *Site Occupancy*, die von einer Tierart besetzte Flächeneinheiten, zu machen und weitere Parameter wie die Erfassungswahrscheinlichkeit und die Zu- und Abwanderungsraten zu ermitteln (Hines 2006a). Aufgrund dessen wird auch das Studiendesign der Pilotstudie auf der Methode der Software aufgebaut.

Bisher verwendete Methoden zur Nutzung von Präsenz-Absenz Daten führten meist zu verfälschten Resultaten. Bei Absenz ist oft nicht klar, ob die Tierart in einer Flächeneinheit nicht vorhanden ist, oder ob sie vorkommt, aber nicht erfasst wurde. Dadurch werden die gesuchten Parameter meist unterschätzt, was zu falschen Entscheidungen in Management führen kann (MacKenzie *et al.* 2002). Um diese Chancen von «falschen Absenzen» zu minimieren, wird in den neueren statistischen Modellen die Fallengeschichte der einzelnen Fallenstandorte genutzt. Ein Beispiel einer Fallengeschichte wäre *01100*, wobei hier bei der zweiten und dritten von fünf Kontroll-Einheiten ein Individuum nachgewiesen werden konnte. Das heisst durch wiederholte Kontroll-Einheiten der gleichen Fotofallenstandorte, innerhalb einer relativ kurzen Zeit, z.B. einer Saison, können die gesuchte Parameter genauer geschätzt werden (MacKenzie und Bailey 2004).

Die Software PRESENCE (MacKenzie *et al.* 2002) beruht auf einer Untersuchungsmethode, bei der genau dieser Ansatz genutzt wird. Es wird dabei nicht die Populationsgrösse geschätzt, sondern die Veränderung des Vorkommens bzw. der besetzten Flächeneinheiten über die Jahre beobachtet und bewertet. Folgerungen werden nicht zur Populationsgrösse, sondern zu der Veränderung der besetzten Flächeneinheiten gemacht.

Die Definition der Erfassungswahrscheinlichkeit γ_i und des Vorkommens Ψ_i lautet wie folgt:

Definition **Erfassungswahrscheinlichkeit γ_i** (*Detection Probability*): «Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Individuum erfasst wird, abgelichtet oder gefangen, wenn es im Zeitraum der Untersuchung im Untersuchungsgebiet vorhanden ist.» (O'Connell *et al.* 2011)

Definition **Vorkommen Ψ_i** (*Site Occupancy*): «Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Flächeneinheit einer vordefinierten Rastereinheit von einer Tierart besetzt ist bzw. dass eine Tierart in dieser Flächeneinheit vorkommt.» (MacKenzie *et al.* 2002; O'Connell *et al.* 2011)

Die durch PRESENCE genutzte Methode hat den Vorteil, dass bei Arten, welche ohne Markierung nur schwer individuell zu unterscheiden sind, dennoch eine Schätzung zur Verteilung der Art und zu den Prozessen, welche die Verteilungsmuster beeinflussen, gemacht werden kann. Zudem sind dadurch Tiere in einem Untersuchungsgebiet beobachtbar, welches zu gross wäre, um komplett abgedeckt zu werden. Weiter werden so auch Tierarten, welche normalerweise nur selten gesichtet werden, erreicht (O'Connell *et al.* 2011). Die Methode funktioniert auch mit indirekten Nachweisen wie Losung, Federn oder durch die Nutzung von Spurentunnels. (MacKenzie *et al.* 2006).

Die im Langezeit-Monitoring gesammelten Präsenz-Absenz Daten der Rotfuchse werden in Zukunft genutzt, um mittels der PRESENCE die Erfassungswahrscheinlichkeit der Füchse in einer gewissen Anzahl an Flächeneinheiten, hier 1km² Quadrate, zu ermitteln. So kann das Vorkommen in den untersuchten Flächeneinheiten geschätzt und in Zukunft genutzt werden, um die Änderung der räumlichen Verteilung bzw. der besetzten Flächeneinheiten der Rotfuchse im Schweizerischen Nationalpark (SNP) zu untersuchen.

2.3 Feldarbeit

Im Folgenden wird das Untersuchungsgebiet und das Studiendesign der Feldarbeit sowie das verwendete Material dargestellt. Der Untersuchungszeitraum verlief vom 12. Juli bis zum 26. September 2016. In der Vorwoche, d.h. vom 5. Juli bis zum 11. Juli 2016, wurden die Fotofallen im Gebiet aufgestellt.

2.3.1 Untersuchungsgebiet

Der SNP liegt im Engadin, im Osten des Kanton Graubündens. Die Fläche beträgt 170 km² und es besteht eine Höhendifferenz von 1400m ü. M. bis 3170m ü. M.. Der SNP ist seit seiner Entstehung im Jahr 1914 ein streng geschütztes Gebiet, in welchem die Jagd ausnahmslos verboten ist. Wanderer dürfen die gekennzeichneten Wege nicht verlassen und Hunde sowie jegliche Ausführung von Sportarten wie Ski- und Schneeschuhtouren, Biken und Reiten sind im Park untersagt.

Die Feldarbeit wurde in verschiedenen Teilgebieten des SNP durchgeführt (Abbildung 1, hellblau unterlegte Quadrate). Dies beinhaltete das Gebiet zwischen Vallun Chafuol und Fuorcla Murter (Quadrat-Nr. 61, 77, 78, 79, 97), dem Gebiet ab Punt la Drossa bis ins Val da la Föglia bzw. bis zum Munt Chavagl (Quadrat-Nr. 44, 45, 46, 47, 48, 63, 64) sowie im Val Mingèr (Quadrat-Nr. 177, 196, 215). Diese Gebiete wurden in 15 x 1km²-Quadrate aufgeteilt und als Untersuchungsgebiet festgelegt. Pro Quadrat wurden vier Fotofallen (Cuddeback Capture IR, Cuddeback, Wisconsin, USA) mit je einem Lockpfosten aufgestellt. Dabei wurden jeweils nur drei der Pfosten mit Fischöl (Crude Salmon Oil, Garant Tiernahrung GmbH, Aschach/D, Österreich) versehen, der vierte erhielt keinen Lockstoff. Dies ergab eine Gesamtzahl von 45 Fotofallen mit Fischöl und 15 Fotofallen ohne Fischöl.

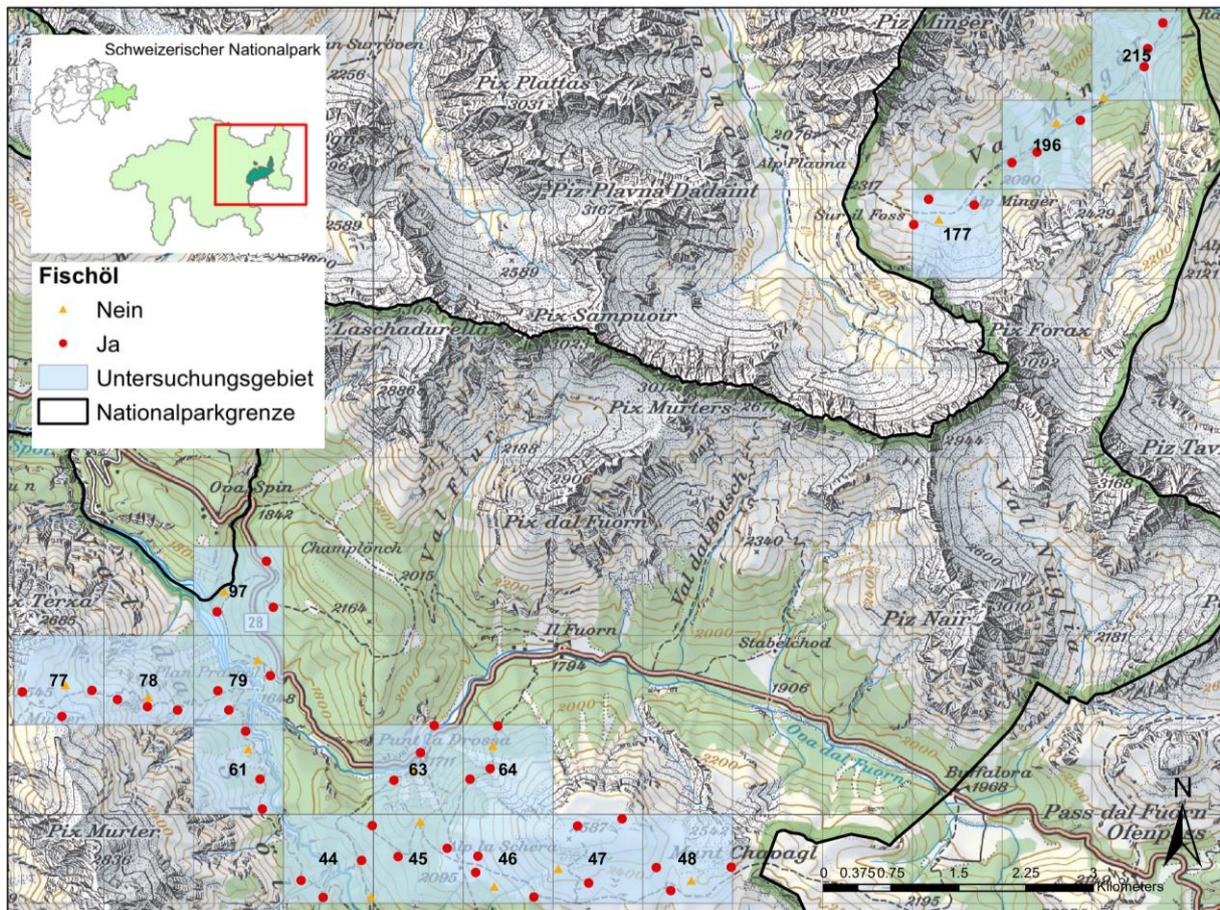


Abbildung 1 Das Untersuchungsgebiet der Pilotstudie beinhaltete 15 x 1km²- Quadrate mit insgesamt 60 Fotofallen. Pro Quadrat wurden jeweils drei Fotofallen mit Fischöl (rote Punkte) und eine ohne Fischöl (oranges Dreieck) aufgestellt. Die automatische Nummerierung der Quadrate in ArcGIS wurde später auch für die Benennung der Fotofallen genutzt. Zusätzlich wurden die Fotofallen pro Quadrat von 1 bis 4 durchnummeriert. Die vollständige Nummerierung der Fotofallen ist in Abbildung 13 im Anhang dargestellt.

Für die Wahl der Fotofallenstandorte wurde eine Karte mit der Flächenbilanz der Habitatklassen in ArcGIS erstellt (Desktop version 10.4, ESRI inc., Redlands, CA, USA; ArcGIS Vector-Layer: habitalp_snp_vm_121213, Schweizerischer Nationalpark, Zernez, Schweiz). Die Auswahl der Quadrate und Fotofallenstandorte wurde nach folgenden Kriterien getroffen: Machbarkeit bzw. Erreichbarkeit des Standortes, Vermeidung der Gebiete mit anderen Projekten und Vermeidung der Störung von Rothirschen, Steinböcken und Gämsen. Sofern diese Kriterien beachtet werden konnten, wurden die Standorte so festgelegt, dass sie der Verteilung der ermittelten Flächenbilanz der Habitatklassen entsprachen. Es wurde ein Mindestabstand zum Wanderweg von 30m festgelegt. Dieser konnte aufgrund des Geländes oder der Vegetation nicht immer eingehalten werden.

Fotofallen ohne Lockmittel wurden in die durchschnittliche Habitatklasse des entsprechenden Quadrates gesetzt. Fotofallen mit Lockmittel wurden nach der Verteilung der Habitatklassen gesetzt. Weiter wurde darauf geachtet, dass die Fallen im schrägen, spitzen Winkel zu einem Wechsel angebracht wurden und der Lockpfosten zwischen 1m und 3m von den Fotofallen entfernt war (Abbildung 2 und Abbildung 3). Die Fotofallen wurden auf einer Höhe von 1650m ü. M. bis 2550m ü. M. angebracht.



Abbildung 2 Lockpfosten mit Fischöl. Damit das Fischöl so lange wie möglich hielt und sich im Holz verteilte, wurde ein etwa 3cm tiefes Loch gebohrt, in welches das Fischöl gefüllt wurde.



Abbildung 3 Beispiel einer montierten Fotofalle an einem Wechsel. Der Lockpfosten wurde 1 bis 3m davor, hier ohne Fischöl, gesetzt.

Die Cuddeback Capture Fotofalle ist eine Wärmebildkamera, welche nur ausgelöst, wenn sich ein Tier vor der Kamera befindet. Die Fotofallen reagieren auf Infrarotstrahlung. Sobald ein Unterschied von der Hintergrundtemperatur und die durch ein Tier ausgelöste Veränderung der Wärmeenergie registriert wird, wird ein Bild aufgenommen. Danach dauert es 30 Sekunden, bis der Blitz wieder aufgeladen ist und ein erneutes Bild gemacht werden kann.

Die insgesamt 80 Fotofallen (davon 20 als Ersatz) wurden für den Untersuchungszeitraum von KORA (Koordinierte Forschungsprojekte zur Erhaltung und zum Management der Raubtiere in der Schweiz, Muri bei Bern, Schweiz) ausgeliehen.

2.3.2 Ausführung der Feldarbeit

Während des Aufstellens der Fotofallen vom 5. bis zum 11. Juli 2016 wurde vorerst noch kein Lockmittel eingesetzt. Erst danach wurden innerhalb von fünf Tagen bei 45 Fotofallen deren Lockpfosten mit Fischöl versehen. In den darauffolgenden zehn Wochen wurden die Fallenstandorte alle zwei Wochen innerhalb von fünf Tagen kontrolliert. Somit konnte jede Falle fünfmal kontrolliert werden, wobei bei der letzten Kontroll-Einheit alles abgeräumt wurde. Eine Kontroll-Einheit dauerte jeweils zwei Wochen. Am letzten Tag der jeweiligen Kontroll-Einheiten wurden die Akkus und die SD-Karten ausgetauscht sowie die Löcher der Lockpfosten erneut mit frischem Fischöl aufgefüllt.

2.4 Beschreibung der Standortvariablen und der abhängigen Variablen

Um den Einfluss der Standortvariablen auf die Präsenz bzw. die Häufigkeit (Vorselektion) und die Erfassungswahrscheinlichkeit der Füchse an einem Fotofallenstandort bestimmen zu können, wurden verschiedene Variablen (Tabelle 1) mittels der Software ArcGIS ermittelt. Dies beinhaltete für die 60 Fotofallenstandorte vier Habitatklassen (Wald; Rasen und Wiesen; Rohboden; Gewässer), elf Habitattypen (z.B. strukturierter Fluss; Rinne, Runse; montane-, subalpine-, alpine Rasen, Wiese, Weide; Stangenholz, Wachstumsstadium; Kronendach zweischichtig, Altholzbestand mit Verjüngung) und fünf stetige Variablen Hangneigung, Höhe über dem Meeresspiegel sowie Distanz zum Wanderweg, Niederschlag und Lufttemperatur. Darüber hinaus wurde die Kameraausrichtung und die Exposition miteinbezogen. Letztere Variable wurde im Feld mit einem Kompass bestimmt. Um die Zahl der Kategorien nicht unnötig zu erhöhen, wurden die Variablen in stetiger Form (Höhe über Meer, Hangneigung, Niederschlag und Lufttemperatur) so belassen. Die Variablen Exposition und Kameraausrichtung wurden aufgrund ihrer zirkulären Werte, trotz Stetigkeit, in Kategorien eingeteilt.

Die Angaben der Niederschlagsmengen und der Lufttemperatur stammen von der Wetterstation Buffalora nahe der Ofenpassstrasse. Diese liegt auf 1970m ü. M. und der Abstand zu den Fotofallen beträgt zwischen 2.8km und 10.7km. Für die Auswertungen der Witterungseinflüsse wurden die durchschnittlichen Werte der jeweiligen Kontroll-Einheit genutzt. Als Kontroll-Einheit wurde der Kontrollzeitraum von zwei Wochen bezeichnet. Der Untersuchungszeitraum der Studie lief über 10 Wochen, was zu insgesamt fünf Kontroll-Einheiten führte.

Tabelle 1 Verwendete Standortvariablen und ihre Herkunft. Bei den kategorischen Variablen sind die dazugehörigen Kategorien aufgelistet.

Beschreibung der Standortvariablen			
konstante Variablen	Datentyp	Kategorien	Herkunft
Fischöl	kategorisch	0 = ohne Fischöl 1 = mit Fischöl	Garant Tiernahrung GmbH Aschach/D. (AT)
Habitatklasse	kategorisch	1 = Wald, 2 = Rasen, Wiesen 3 = Rohboden 4 = Gewässer	ArcGIS Vector-Layer : habitalp_snp_vm_121213
Wald	kategorisch	0 = kein Wald 1 = Wald	ArcGIS Vector-Layer : habitalp_snp_vm_121213
Habitattyp	kategorisch	1 = Fluss, strukturiert 2 = montane/ subalpine/ alpine Rasen, Wiese, Weide, 3 = Rinne, Runse 4 = Schutt/ Geröll fein [cm]/ mittel [dm] 5 = Dickung, 6 = Stangenholz, Wachstumsstadium 7 = Baumholz 8 = unbekannt 9 = Kronendach zweischichtig, Altholzbestand mit Verjüngung 10 = Kronendach zweischichtig, sonstige Oberschicht und Unterschicht 11 = Kronendach vielschichtig, gestuft, Plenterstadium	ArcGIS Vector-Layer: habitalp_snp_vm_121213
Kameraausrichtung	kategorisch	1 = N (0 - 22.5 und 337.5 - 360) 2 = NO (22.5 - 67.5) 3 = O (67.5 - 112.5) 4 = SO (112.5 - 157.5) 5 = S (157.5 - 202.5) 6 = SW (202.5 - 247.5) 7 = W (247.5 - 292) 8 = NW (292.5 - 337.5)	Im Feld gemessen
Exposition	kategorisch	Siehe Kameraausrichtung	ArcGIS Raster-Layer: SNP_DGM_2M
Hangneigung	stetig	0 - 40%	ArcGIS Raster-Layer: SNP_DGM_2M
Höhe	stetig	1649m ü. M. bis 2550m ü. M.	GPS-Gerät
Distanz zum Wanderweg	stetig	6.2m -165m	ArcGIS Vector-Layer: hiking_trails
variierende Variablen			
Kontroll-Einheit	kategorisch	1 = 1.Kontroll-Einheit 2 = 2.Kontroll-Einheit 3 = 3. Kontroll-Einheit 4 = 4. Kontroll-Einheit 5 = 5. Kontroll-Einheit	
Niederschlag	stetig	0 - 39.5mm 0.5 - 8.9mm (Durchschnitt pro Kontroll- Einheit)	Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz Wetterstation: Buffalora
Lufttemperatur	stetig	3.6 - 15.2 °C 7 - 11.9 °C (Durchschnitt pro Kontroll- Einheit)	Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz Wetterstation: Buffalora

Die Begriffe der abhängigen Variablen Präsenz bzw. Häufigkeit der Vorselektion wurden in dieser Arbeit wie folgt verwendet:

Definition **Präsenz**: Bei ein- oder mehrmaligen Aufnahmen eines Rotfuchses während einer Kontroll-Einheit wurde dies als Präsenz und somit als 1 gewertet. Falls keine Aufnahme in dieser Periode bei einer Falle entstanden ist, wurde dies als Absenz und somit als 0 gewertet. Diese Daten liegen also binäre vor.

Definition **Häufigkeit**: Hier wurden mehrmalige Nachweise innerhalb einer Kontroll-Einheit einer Fotofalle berücksichtigt. D.h. falls beispielsweise eine Kamera vier Füchse registrierte, wurden diese vier gezählt. Wenn allerdings zwei Fotos eindeutig einem Individuum zugeordnet werden konnten, z.B. bei Aufnahmen innerhalb von wenigen Minuten, wurden diese als einzelner Nachweis gezählt.

2.5 Softwares und Programme

Für die Ermittlung der Variablen und die Kartengestaltung wurde die Software ArcGIS 10.4 (Desktop version 10.4, ESRI Inc., Redlands, CA, USA) benutzt. Für die statistischen Auswertungen wurden das Statistikprogramm RStudio, Version 3.3.0 (R Core Team 2016; RStudio Team 2016), sowie das Programm PRESENCE 11.2 (Hines 2006a) und GENpres8 (Hines 2006b) verwendet.

2.6 Anmerkungen zum Datum der Foto-Aufnahmen

Auf den Abbildungen der Kameras ist jeweils das Jahr 2006 statt 2016 zu sehen. Dies ist ein Programmierfehler des Herstellers der Capture-Fotofallen. Alle Fotofallen, die jeweils auf das Jahr 2016 eingestellt wurden, erstellten Bilder mit der Datierung 2006 erscheint. Der Tag, Monat und die Zeit stimmen jeweils.

2.7 Statistische Auswertungen

Bei der Auswertung zu den möglichen Einflüssen der Standortvariablen wurden auch Jungfüchse berücksichtigt. Jedoch zur Ermittlung der nötigen Anzahl Fallen pro Quadrat wurden die Jungfüchse nicht miteinberechnet. Die Nachweise der Aufstell-Woche wurden in keine der Berechnungen einbezogen.

2.7.1 Einfluss der Standortvariablen

Zur Erfassung der wichtigsten Standortvariablen beim Einfluss auf die Erfassungswahrscheinlichkeit wurde zuerst eine Vorselektion durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurden diese Standortvariablen mit dem Modell-Selektion Paket *unmarked* getestet.

2.7.1.1 Vorselektion GLMM

Das verallgemeinerte lineare gemischte Modell GLMM (*Generalized Linear Mixed Model*) ist für die Vorselektion eine ideale Methode (Bolker *et al.* 2009). Die Analysen wurden für beide abhängigen Variablen, Präsenz und Häufigkeit, durchgeführt. Die Resultate waren sehr ähnlich. Durch das Histogramm der Verteilung der Anzahl an Nachweisen wurde ersichtlich, dass nur wenige Fotofallen pro Kontroll-Einheit mehr als einen Nachweis vorweisen konnten (Abbildung 4). Da aufgrund der hohen Anzahl an Nicht-Nachweisen eine linksschief liegende Poisson-Verteilung vorliegt, sollte auf ein GLMM verzichtet werden (Zuur *et al.* 2010). Daher wurde entschieden, nur mit den Resultaten der Präsenz als abhängige Variable weiterzuarbeiten. Im Folgenden sind somit nur die Resultate des GLMMs basierend auf der Binomial-Verteilung dargestellt.

Wenn Daten nicht-normalverteilt sind, werden diese üblicherweise transformiert. Bei gewissen Daten ist es jedoch vorteilhafter die Originaldaten zu modellieren, statt diese zu transformieren und ein verallgemeinertes lineares Modell GLM (*Generalized Linear Model*) zu nutzen (Quinn und Keough 2002). GLMMs sind eine Erweiterung der GLM. Diese erlauben einen flexibleren Ansatz, um nicht-normale Daten zu analysieren, wenn zusätzlich Zufallseffekte vorhanden sind (Bolker *et al.* 2009). Bei den hier verwendeten Daten war dies mit den binären Präsenz-Absenz Daten und den wiederholten Messungen an den einzelnen Fotofallen der Fall.

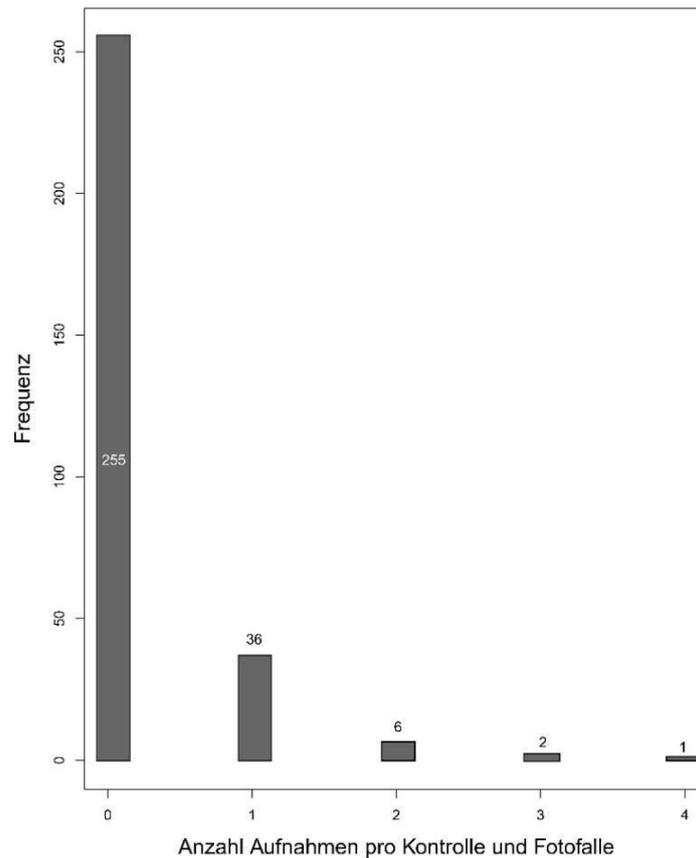


Abbildung 4 Der Frequenz-Plot zeigt die Anzahl an Nachweisen pro Kontroll-Einheit und Fotofalle. Von 300 Kontroll-Einheiten (60 Fotofallen x 5 Perioden) zeigten 255 keinen Nachweis eines Rotfuchses. Nur wenige Kontroll-Einheiten zeigten mehr als ein Nachweis. Nur bei einer Fotofalle konnte während einer Einheit 4 Füchse registriert werden.

Für die Analysen der Vorselektion wurden die Daten zu den fünf Kontroll-Einheiten des ganzen Sommers untereinander genommen. D.h. für die weiteren Auswertungen der Vorselektion wurde mit einem Datensatz mit der Stichprobe 300 statt 60 gearbeitet. Da es dadurch zu wiederholten Messungen an der gleichen Fotofalle kam, musste für diese Wiederholungen korrigiert werden. Dafür wurde die Fotofallnummer als Zufallsfaktor ins Modell miteingebaut.

Für die Ausführung der Modellselektion wurden die Pakete *lme4* und *MuMIn* in RStudio geladen und die Funktionen *glmer()* und *dredge()* genutzt. Aufgrund der hohen Anzahl an Kategorien wurden verschiedene Modelle aufgestellt und nicht alle Variablen in einem Modell vereint. Laut Zuur *et al.* (2009) sollten GLMMs möglichst einfach gehalten werden.

Für eine erste Modell-Selektion wurden folgende Variablen verwendet: Fischöl, Habitatklasse, Kameraausrichtung, Exposition, Hangneigung, Meereshöhe und die Distanz zum Wanderweg. Die Variablen Kameraausrichtung und Exposition waren in den ersten sieben Modellen mit einem $\Delta AIC_c \leq 2$ nicht enthalten und wurden daher bei den weiteren Modellen weggelassen. Dafür wurde der Habitattyp ins Modell eingebaut. Die Differenz der ersten Modelle (ΔAIC_c) war mit einem Wert ≤ 2 nicht aussagekräftig für die Modell-Selektion und die Modelle sollten als «gleichberechtigt» angesehen werden (Burnham und Anderson 2002). Als Zufallsfaktor wurde jeweils die Fotofallen-Nummer miteinberechnet. Zur besseren Übersicht wurde eine Modellmittelung (*Modell Averaging*) mit Hilfe der Funktion *model.avg()* genutzt.

Da die Habitatklasse und der Habitattyp bei der zweiten Modell-Selektion in den ersten Modellen erst bei einem hohen AIC_c vertreten war, wurde in der dritten Selektion die Variable Habitatklasse neu kategorisiert (Tabelle 1). Die Habitatklasse wurde hier in Wald und nicht-Wald aufgeteilt.

Um einen möglichen Einfluss vom Wetter auf die Präsenz des Fuchses und auch die Haltbarkeit des Fischöls zu untersuchen, wurde als nächster Schritt der Einfluss der variierenden Variable Wetter (Niederschlag und Lufttemperatur) untersucht. Auch hier wurde wiederum ein GLMM durchgeführt und zusätzlich die Interaktion zwischen dem Fischöl und der Niederschlagsmenge bzw. der Lufttemperatur überprüft. Als Zufallsfaktor wurde, neben der Fotofallen-Nummer, auch die jeweilige Kontroll-Einheit der untersuchten Fotofallen eingebaut.

In einer letzten Selektion wurden nur diejenigen Variablen beachtet, welche während der Vorselektion die höchste relative Wichtigkeit aufgezeigt hatten. Dies beinhaltete die Variable Niederschlag, Höhe, Fischöl, Wald, Lufttemperatur, Distanz zum Wanderweg und die Hangneigung.

Zusätzlich wurde die Signifikanz der Modelle mit dem Wald χ^2 -Test (Anova, type = 3) getestet.

2.7.1.2 Modell-Selektion Paket *unmarked*

Die Standortvariablen mit der grössten relativen Wichtigkeit aus der Vorselektion wurden weiter genutzt, um direkt den Einfluss dieser Variablen auf die Erfassungswahrscheinlichkeit zu testen. Der Einfluss dieser wichtigsten Standortvariablen wurden auf die Erfassungswahrscheinlichkeit (*Detection Probability*) und nicht auf das Vorkommen (*Site Occupancy*) getestet. Dafür wurde in RStudio das Paket *unmarked* und die Funktion *occuRN()* verwendet. Das Paket *unmarked* erlaubt die durch die Absenzdaten entstehende Unterschätzung der Parameter zu vermeiden und Modellierungen zum Vorkommen einer Zielart auf einer Flächeneinheit zu machen (MacKenzie *et al.* 2006). Die Nutzung von *occuRN()* hatte den Vorteil, dass die Heterogenität in der Erfassungswahrscheinlichkeit zugelassen werden kann (Royle und Nichols 2003). Es wurde wiederum eine Modell-Selektion durchgeführt und der AIC verglichen. Diese orientierte sich nach den Beispielen in Kéry und Royle (2015). Als konstante Variablen (*Site Specific Covariates*) wurden Fischöl, Höhe, Wald, Distanz zum Wanderweg und Hangneigung ins Modell eingebaut. Als variierende Variablen (*Occasion Specific Covariates*) wurden der Niederschlag und die Lufttemperatur angegeben.

2.7.2 Räumliche Autokorrelation

Um die Unabhängigkeit zwischen den Fotofallen zu überprüfen und somit die räumliche Autokorrelation zwischen den Fallen auszuschliessen, wurde die Funktion *Spatial Autocorrelation (Moran's I)* in ArcGIS genutzt. Im Gegensatz zu den vorherigen Analysen wurden hier die Anzahl an Nachweisen (Häufigkeit) genutzt. Die Autokorrelation wurde zusätzlich zu den Fotofallen auch für die Quadrate überprüft. Als Mindestabstand für die Fotofallen wurde 1000 m, für die Quadrate 2000 m gewählt. So konnte festgestellt werden, ob die generellen Muster der Nachweise geklumpt oder unabhängig voneinander waren (ArcGIS Resources 2014; Murack 2015).

2.7.3 Anzahl Fotofallen pro Quadrat

Die nötige Anzahl Fotofallen pro Quadrat wurde durch die Nutzung der Software PRESENCE und GENpres ermittelt. Dafür wurden vorhergehend in RStudio mittels der Funktion *sample()* neue Datensätze kreiert, in welchen zufällig jeweils eine, zwei oder drei Fallen eines Quadrates gewählt wurden, welche anschliessend im Datensatz nicht mehr vorhanden

waren. Diese wurden für jedes Quadrat für jede Kontroll-Einheit neu gezogen. Das heisst bei einem einzelnen Quadrat konnten über den Sommer gesehen verschiedene Fotofallen entfernt werden (Abbildung 5). Zudem wurde jeweils die Fotofalle mit den meisten Nachweisen eines Quadrates und Kontroll-Einheit extrahiert und für die Auswertung genutzt.

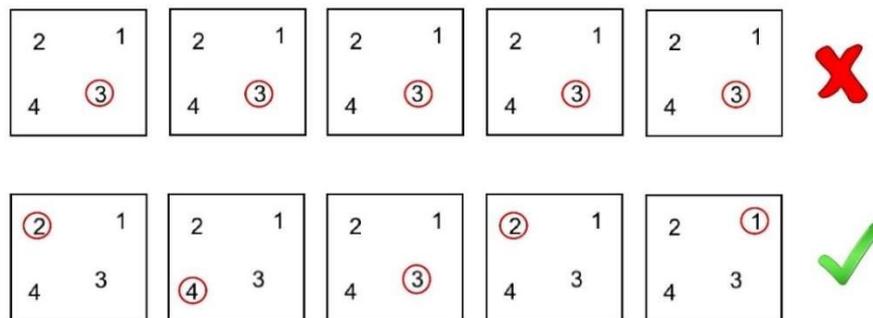


Abbildung 5 Darstellung der zufällig gewählten Fotofallen. Die oberen fünf Quadrate zeigen ein Beispiel wie die zufällige Wahl nicht stattgefunden hat. Hier wurden von der ersten Kontroll-Einheit (linkes Quadrat) bis zu letzten Kontroll-Einheit (rechtes Quadrat) jeweils die Werte der gleichen Falle (Nr. 3) nicht berücksichtigt. Die untere Reihe zeigt ein mögliches Beispiel, wie die zufällige Wahl der Fallen pro Kontroll-Einheit stattgefunden haben könnte. Hier wurden jeweils die Werte von unterschiedlichen Fallen nicht berücksichtigt.

Die Angaben der unterschiedlichen Anzahl an Fotofallen pro Quadrat wurden in einem Excel-File vereint. Die Software PRESENCE wurde anschliessend genutzt, um ein *Simple Single Season Model* aufzustellen, bei welchem die Erfassungswahrscheinlichkeit von der Anzahl an Fotofallen abhing (Hines 2006a).

Zusätzlich wurde die Veränderungen der Standardfehler des Vorkommens des Fuchses in einer Flächeneinheit durch die sich verändernde Erfassungswahrscheinlichkeit simuliert. Dafür wurden mittels der Software GENpres der erwartete Standardfehler des Vorkommens bestimmt, indem dafür erwartete Fallengeschichten generiert wurden. Dies ergab ein Erwartungswert für das Vorkommen und dessen Standardfehler mit sinkender Anzahl an Fotofallen pro Quadrat. Um dies umzusetzen, wurden die fünf Werte der vorher in PRESENCE berechneten Erfassungswahrscheinlichkeiten genutzt (Hines 2006b).

3 Resultate

3.1 Allgemeine Angaben

Insgesamt konnten im Sommer 2016 zwischen dem 5. Juli und 26. September 63 Rotfüchse auf den 60 Fotofallen nachgewiesen werden (Abbildung 6). Davon wurden fünf bereits in der ersten Woche, in der die Fotofallen aufgestellt wurden und noch kein Fischöl angebracht war, fotografiert. Nach der ersten Kontroll-Einheit konnten für die vorangegangenen vierzehn Tage 10 Rotfüchse nachgewiesen werden, bei der zweiten Kontroll-Einheit stieg die Zahl auf 16, nach der dritten Kontroll-Einheit waren es noch 14 Rotfüchse und nach der vierten Kontroll-Einheit sank die Zahl auf sechs Nachweise. Bei der fünften und letzten Kontroll-Einheit stieg die Zahl der Nachweise von Rotfüchsen nochmals auf 12 Individuen. Von den 63 Rotfüchsen wurden 12 (19%) als Jungfüchse eingestuft. Diese wurden ab Ende Juli bzw. Anfang August vermehrt auf den Aufnahmen der Fotofallen beobachtet.

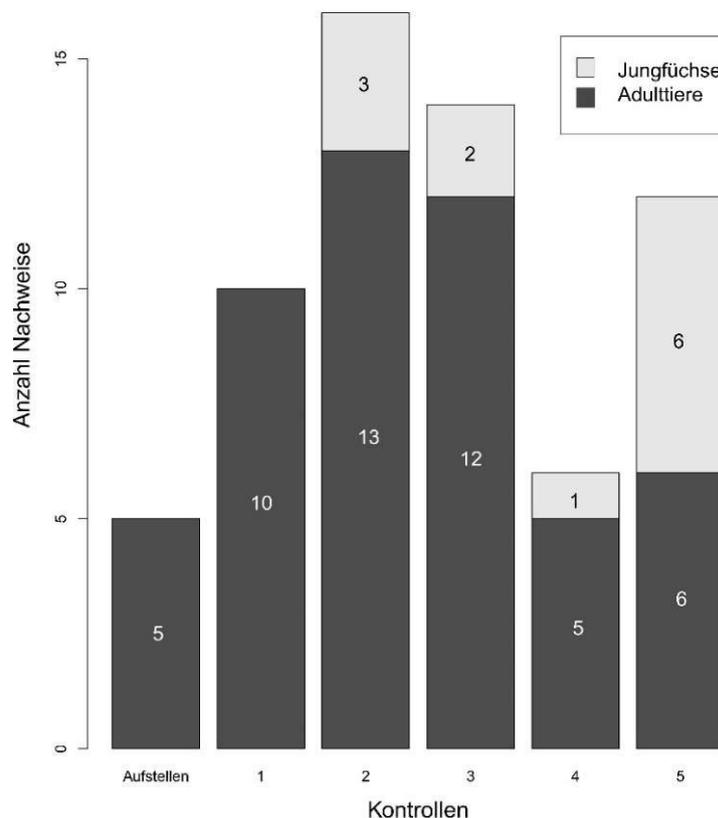


Abbildung 6 Graphische Darstellung der Anzahl Nachweise der Rotfüchse der fünf Kontroll-Einheiten und während des Aufstellens der Fotofallen im Sommer 2016 im Schweizerischen Nationalpark. Insgesamt wurden im Sommer 2016 63 Rotfüchse nachgewiesen. Davon waren 12 (19%) Jungfüchse.

Betrachtet man nur die Kontroll-Einheiten ohne die Aufstellwoche liegt die maximale Anzahl an Nachweisen pro Fotofalle und Kontroll-Einheit bei 4 Füchsen. Dabei wurden bei 28 (46%) der 60 Fotofallen mindestens einmal ein Rotfuchs abgelichtet (Abbildung 7). Bei zwei der 15 Quadraten gab es während den fünf Kontroll-Einheiten keinen Nachweis eines Rotfuchses. Von den 63 Rotfüchsen wurden 39 bei Fotofallen mit Fischöl und 14 (5 davon innerhalb der Aufstell-Woche und 9 innerhalb der Kontroll-Einheiten) bei Fotofallen ohne Fischöl nachgewiesen. Die Nachweise erfolgten auf einer Höhe von 1650 m ü. M und 2510 m ü. M..

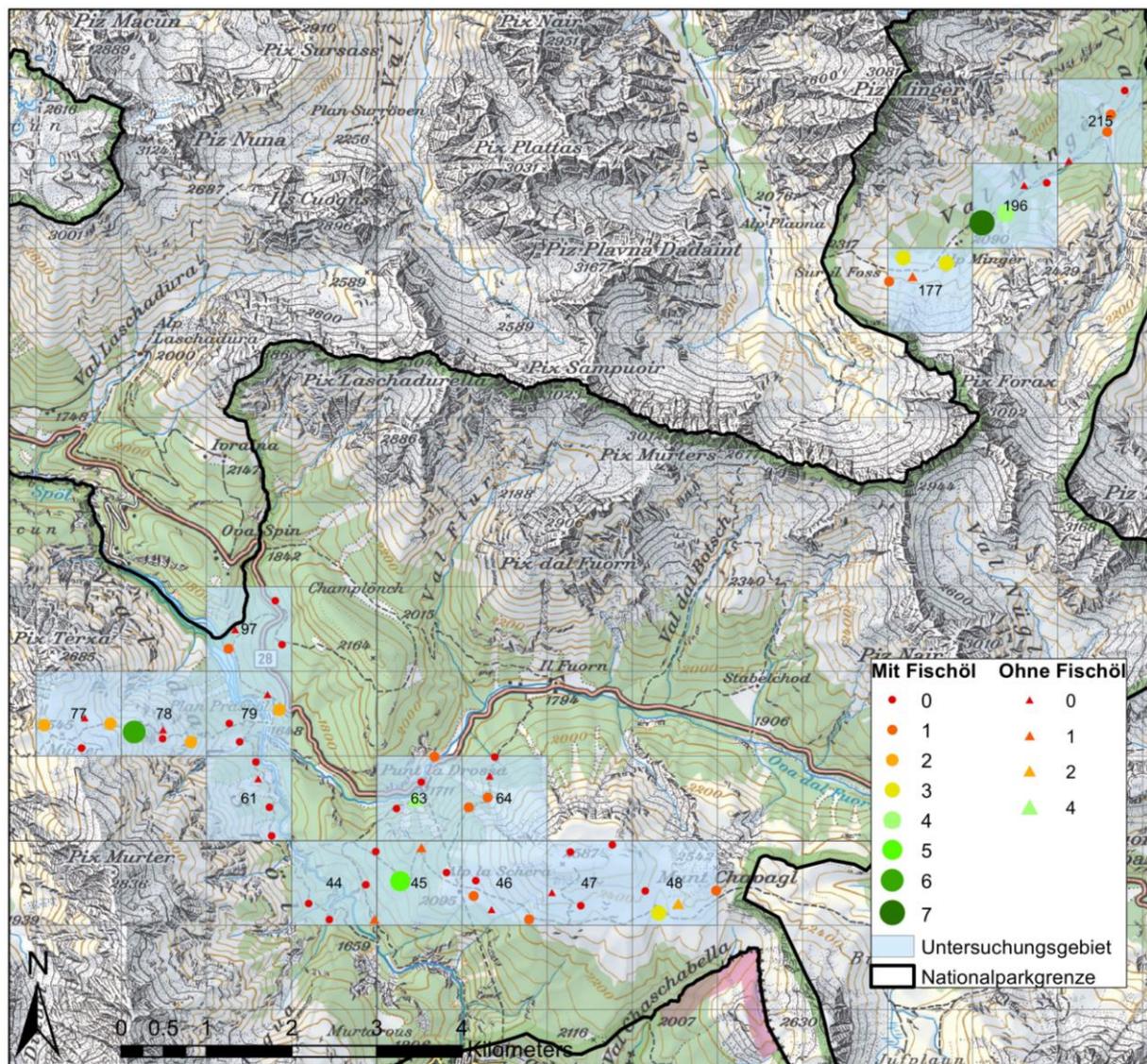


Abbildung 7 Anzahl Nachweise pro Fotofallen während den fünf Kontroll-Einheiten (exkl. Aufstell-Woche) als Karte dargestellt. Bei 28 (46%) Fotofallen wurde mindestens einmal ein Fuchs nachgewiesen. Bei Quadrat Nummer 47 und 61 konnte während allen fünf Kontroll-Einheiten kein Fuchs nachgewiesen werden.

Auf 12 der 63 Bildern des gesamten Sommers konnte ein Fuchs beim Beschnuppern des Lockpfostens fotografiert werden (Abbildung 8). Sieben Füchse markierten den Pfosten (Abbildung 9). Bei den restlichen 44 Nachweisen war der Fuchs schlecht abgebildet oder das Verhalten konnte nicht eindeutig zugeordnet werden. Die insgesamt 19 Füchse, welche den Lockpfosten beschnupperten oder markierten, wurden alle bei Kamerafallen mit Fischöl fotografiert.



Abbildung 8 Nachweis eines Rotfuchses Mitte August 2016 im Val Mingèr. Der Fuchs beschnuppert den mit Fischöl begossenen Lockpfosten.



Abbildung 9 Nachweis eines Rotfuchses Anfangs September 2016 in der Nähe der Fuorcla Murter. Der Fuchs markiert den mit Fischöl begossenen Lockpfosten.

Das Aktivitätsmuster der nachgewiesenen Rotfüchse (exkl. Aufstellwoche, stündlich aufsummiert) dieser Studie konzentriert sich auf den Zeitraum zwischen 19.00 Uhr und 7.00 Uhr (Abbildung 14 im Anhang). Dabei sind zwei Höchstwerte zwischen 21.00 und 22.00 Uhr ($n = 9$) und zwischen 01.00 und 02.00 Uhr ($n = 8$) zu beobachten. Es gibt eine Ausnahme mit 6 Nachweisen zwischen 16.00 und 17.00 Uhr und einigen einmaligen Nachweise während der restlichen Zeit des Tages. Die Verteilung der aufsummierten Nachweise, aufgeschlüsselt nach den Tagen 1 bis 14, zeigt, dass über den Verlauf der fünf Kontroll-Einheiten mindestens einmal pro Tag ein Fuchs registriert werden konnte (Abbildung 15 im Anhang). Bei Tag 1, 5 und 8 waren es insgesamt je 5 Nachweise. Am Tag 14 wurden mit 8 Individuen die meisten Füchse nachgewiesen. Es konnte kein klares Muster beobachtet werden. Einzelne Nachweise pro Tag der Rotfüchse konnten über den ganzen Untersuchungsraum festgestellt werden (Abbildung 16 im Anhang). Ein Anstieg der Nachweise pro Tag konnte im 2. Drittel des Untersuchungszeitraumes beobachtet werden, mit einem Maximum von vier Nachweisen an einem einzelnen Tag (Tag 23, 4. August 2017) der Studie.

Neben den Nachweisen der Rotfüchse gab es auch viele Beifänge. Darunter waren 42 Marder (*Martes foina* und *Martes martes*), 2 Dachse (*Meles meles*), > 400 Rotwild (*Cervus Elaphus*, davon 10 besondere Hirschkühe), 62 Rehe (*Capreolus capreolus*), > 220 Gämse (*Rupicapra rupicapra*,), 4 Steinböcke (*Capra ibex*), > 140 Murmeltiere (*Marmota marmota*,), 45 Schneehasen (*Lepus timidus*), 25 Eichhörnchen (*Sciurus vulgaris*), 2 Birkhühner (*Tetrao Tetrix*), Baumschläfer (*Dryomys nitedula*, 5 Aufnahmen an der gleichen Fotofallen während drei verschiedener Kontroll-Einheit), 1 Waldschnepfe (*Scolopax rusticola*), sowie diverse Maus- und weitere Vogelarten.

3.2 Auswertungen zu den unabhängigen Variablen

3.2.1 Vorselektion GLMM

Die Ergebnisse der Vorselektion mittels der GLMMs waren nicht eindeutig. Für keine der integrierten Variablen konnten Signifikanzen nachgewiesen werden.

Diese erste Modell-Selektion ergab verschiedene Modelle, von welchen die ersten sieben einen AIC zwischen 239.8 und 241.8 besaßen (Tabelle 2). Die Differenz der Modelle (Delta AIC_c) war mit einem Wert ≤ 2 nicht aussagekräftig für die Modell-Selektion und die ersten sieben Modelle sollten als «gleichberechtigt» angesehen werden (Burnham und Anderson

2002). Die Variablen Exposition, Habitatklasse und Kameraausrichtung waren in diesen ersten sieben Modellen nicht enthalten. Den niedrigsten AIC_c von 239.8 besass das Null-Modell. Als letztes Modell mit einem $\Delta AIC_c \leq 2$ war das Modell mit enthaltener Distanz zum Wanderweg aufgelistet.

Tabelle 2 Erste Modell-Selektion mit sieben Variablen als Fester Faktor und die Fotofallen-Nummer als Zufallsfaktor. FOE = Fischöl, H = Höhe über Meer, HC = Habitatklasse, ASP = Exposition, KA = Kameraausrichtung, ND= Distanz zum Wanderweg und SL = Hangneigung, + = «Variable ist im Modell enthalten», df = Freiheitsgrade, AIC_c = Akaike Informationskriterium.

1. Modell-Selektion

FOE	H	HC	ASP	KA	ND	SL	df	Log-likelihood	AIC_c	Delta AIC_c	Akaike weight
							2	-117.919	239.8	0	0.138
	+						3	-117.304	240.6	0.77	0.094
+							3	-117.469	240.9	1.1	0.08
						+	3	-117.883	241.8	1.93	0.053
+	+						4	-116.884	241.8	1.93	0.053
	+				+		4	-116.904	241.8	1.97	0.052
					+		3	-117.91	241.8	1.98	0.051

Die Relative Wichtigkeit der Variablen (*Relative Variable Importance*) der Modellmittelung zeigt, wie relevant die einzelnen Variablen in allen Modellen bzw. welche am meisten in den aufgelisteten Modellen vertreten sind. Die Relative Wichtigkeit der Variablen für dieses Modell war wie folgt: Höhe = 0.42, Fischöl = 0.31, Distanz zum Wanderweg = 0.26, Hangneigung = 0.24, Kameraausrichtung = 0.08.

Bei einer zweiten Modell-Selektion wurden die Variablen Exposition und Kameraausrichtung weggelassen, dafür die Variable Habitattyp miteinbezogen. Die Resultate waren ähnlich. Es waren wiederum sieben Modelle vorhanden mit einem $\Delta AIC_c \leq 2$ (nicht als Tabelle dargestellt). Erneut war die Habitatklasse in den ersten sieben Modellen sowie der Habitattyp in den ersten sechs Modellen nicht enthalten.

Die ersten acht Modelle der 3. Modell-Selektion besaßen wiederum einen ΔAIC_c von ≤ 2 (Tabelle 3). Die Kontroll-Einheit als Variable war nicht vertreten. Den kleinsten AIC_c (239.8) besass abermals das Null-Modell. Nach der Neueinteilung der Habitatklasse in Wald und

nicht-Wald war auch diese Variable in den ersten paar Modellen vertreten (Delta $AIC_c = 1.33$). Als letztes Modell mit einem $AIC_c \leq 2$ war das Modell mit enthaltener Distanz zum Wanderweg aufgelistet (Delta $AIC_c = 1.98$).

Tabelle 3 Dritte Modell-Selektion mit Wald statt Habitatklasse als Variable. FOE = Fischöl, H = Höhe über Meer, W = Wald, KO = Kontroll-Einheit, ND= Distanz zum Wanderweg, SL = Hangneigung, + = «Variable ist im Modell enthalten», df = Freiheitsgrade, AIC_c = Akaike Informationskriterium.

3. Modell-Selektion										
FOE	H	W	KO	ND	SL	df	Log-likelihood	AIC_c	Delta AIC_c	Akaike weight
						2	-117.92	239.8	0	0.14
	+					3	-117.3	240.6	0.77	0.09
+						3	-117.47	240.9	1.1	0.08
		+				3	-117.58	241.2	1.33	0.07
					+	3	-117.88	241.8	1.93	0.05
+	+					4	-116.88	241.8	1.93	0.05
	+			+		4	-116.9	241.8	1.97	0.05
				+		3	-117.91	241.8	1.98	0.05

Die Relative Wichtigkeit der Variablen im dritten Modell war wie folgt: Höhe = 0.40, Fischöl = 0.30, Distanz zum Wanderweg = 0.25, Wald = 0.24, Hangneigung= 0.22, Kontroll-Einheit = 0.05.

Beim nächsten, vierten Schritt, wurde nebst den bisherigen wichtigsten Variablen zusätzlich die Niederschlagsmenge, die Lufttemperatur und deren Interaktion mit dem Fischöl als Variablen dazu genommen. Auch mit diesen gingen mehrere Modelle mit einem $AIC_c \leq 2$ hervor (Tabelle 4). In den ersten neun Modellen kristallisierten sich keine Interaktionen aus. Das Modell mit dem tiefsten AIC_c war nun das Modell mit der enthaltenen Niederschlagsmenge. Das Null-Modell folgte an dritter Stelle mit einem Delta AIC_c von 0.84. Das letzte Modell mit einem $AIC_c \leq 2$ war das Modell mit Niederschlag und Temperatur als unabhängige Variable.

Tabelle 4 In der vierten Modell-Selektion ist zusätzlich Niederschlag und Lufttemperatur und deren Interaktion mit dem Fischöl eingerechnet. FOE = Fischöl, H = Höhe über Meer, W = Wald, SL = Hangneigung, ND = Distanz zum Wanderweg, N = Niederschlag, T = Lufttemperatur, FOE:N = Interaktion Fischöl - Niederschlag, FOE:T = Interaktion Fischöl - Lufttemperatur, + = «Variable ist im Modell enthalten», df = Freiheitsgrade, AIC_c = Akaike Informationskriterium.

4. Modell-Selektion													
FOE	H	W	SL	ND	N	T	FOE:N	FOE:T	df	Log-likelihood	AIC _c	Delta AIC _c	Akaike weight
					+				4	-116.5	241	0	0.08
	+				+				5	-115.91	241.83	0.82	0.05
									3	-117.92	241.84	0.84	0.05
+					+				5	-116.05	242.1	1.1	0.04
		+			+				5	-116.17	242.34	1.33	0.04
	+								4	-117.3	242.61	1.61	0.03
			+		+				5	-116.46	242.93	1.93	0.03
+									4	-117.47	242.94	1.94	0.03
				+	+				5	-116.49	242.98	1.98	0.03
+	+				+				6	-115.49	242.99	1.98	0.03
					+	+			5	-116.5	243	2	0.03

Folgende Werte ergaben sich aus dem vierten Modell für die Relative Wichtigkeit der Variablen: Niederschlag= 0.66, Höhe = 0.35, Fischöl = 0.32, Wald = 0.20, Distanz zum Wanderweg = 0.18, Temperatur = 0.18, Hangneigung = 0.17, Interaktion Fischöl - Niederschlag = 0.04, Interaktion Fischöl - Temperatur = 0.01.

Bei der fünften und letzten Modell-Selektion, in die nur noch die wichtigsten Variablen aufgenommen wurden, resultierten abermals die ersten elf Modelle mit einem sehr ähnlichen AIC_c ≤ 2 (Tabelle 5). Den kleinsten AIC_c (241) stammte hier im Modell mit Niederschlag. Das Null-Modell folgt an Dritter Stelle mit einem Delta AIC_c = 0.84. Das letzte Modell mit einem AIC_c ≤ 2 war wiederum das Modell mit Niederschlag und Temperatur als unabhängige Variable.

Tabelle 5 Fünfte Modell-Selektion mit den wichtigsten Variablen aus den vorgegangen Modellen. FOE = Fischöl, H= Höhe über Meer, W = Wald, SL = Hangneigung, ND = Distanz zum Wanderweg, N = Niederschlag, T = Lufttemperatur, + = «Variable ist im Modell enthalten», df = Freiheitsgrade, AIC_c = Akaike Informationskriterium

5. Modell-Selektion											
FOE	H	W	SL	ND	N	T	df	Log-likelihood	AIC _c	Delta AIC _c	Akaike weight
					+		4	-116.5	241	0	0.08
	+				+		5	-115.91	241.83	0.82	0.05
							3	-117.92	241.84	0.84	0.05
+					+		5	-116.05	242.1	1.1	0.05
		+			+		5	-116.17	242.34	1.33	0.04
	+						4	-117.3	242.61	1.61	0.04
			+		+		5	-116.46	242.93	1.93	0.03
+							4	-117.47	242.94	1.94	0.03
				+	+		5	-116.49	242.98	1.98	0.03
+	+				+		6	-115.49	242.99	1.98	0.03
					+	+	5	-116.5	243	2	0.03

Mit dem fünften Modell resultierten folgende Werte für die Relative Wichtigkeit der Variablen: Niederschlag= 0.65, Höhe = 0.35, Fischöl = 0.30, Wald = 0.19, Distanz zum Wanderweg = 0.19, Hangneigung = 0.18, Temperatur = 0.18.

Auch der Wald Chi²-Test, mit der die Anova durchgeführt wurde, zeigte für keine der untersuchten Variablen in den Modell-Selektionen eine Signifikanz.

Basierend auf der Parameterschätzung des letzten Modells verzeichnete keine der Korrelationen eine Signifikanz. Im Anhang sind die Effekte der einzeln untersuchten Variablen dargestellt (Abbildung 17 bis 28).

3.2.2 Modell-Selektion Paket *unmarked*

Aus den Analysen der Einflüsse der wichtigsten Standortvariablen auf die Erfassungswahrscheinlichkeit gingen zwei Modell mit einem Delta AIC ≤ 2 hervor (Tabelle 6). Den tiefsten AIC-Wert konnte beim Modell mit der Niederschlagsmenge als unabhängige

Variable festgestellt werden (Abbildung 10). Das zweite Modell war das Null-Modell. Als drittes folgte das Modell mit Hangneigung und dem Niederschlag mit einem Delta AIC von 2.01. Bei allen anderen Variablen und deren Kombinationen nahm Delta AIC einen Wert von 2.49 und mehr an. Für keine der untersuchten Standortvariablen konnte eine signifikante Korrelation mit der Erfassungswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden.

Tabelle 6 Modell-Selektion zur Ermittlung der Einflüsse der Standortvariablen auf die Erfassungswahrscheinlichkeit. Die wichtigsten Variablen der Vorselektion wurden dafür genutzt. FOE = Fischöl, H = Höhe über Meer, W = Wald, SL = Hangneigung, ND = Distanz zum Wanderweg, N = Niederschlag, T = Lufttemperatur, + = «Variable ist im Modell enthalten», * = inkl. Interaktion mit dem Niederschlag, ** = inkl. Interaktion mit der Lufttemperatur, nPars = Anzahl Parameter im Modell, AIC_c = Akaike Informationskriterium.

Modell-Selektion mit unmarked											
FOE	H	W	SL	ND	N	T	nPars	AIC	Delta AIC	Akaike weight	cumltvWt
					+		3	241.68	0	1.90E-01	0.19
							2	242.44	0.75	1.30E-01	0.32
			+		+		5	243.69	2.01	6.90E-02	0.39
						+	3	244.17	2.49	5.40E-02	0.44
			+				4	244.19	2.51	5.40E-02	0.5
+					+		5	244.64	2.96	4.30E-02	0.54
		+			+		5	245.03	3.35	3.50E-02	0.57
				+	+		5	245.3	3.61	3.10E-02	0.6
+							4	245.41	3.73	2.90E-02	0.63
		+					4	245.78	4.1	2.40E-02	0.66
			+			+	5	245.92	4.24	2.30E-02	0.68
				+			4	246.02	4.34	2.20E-02	0.7
+			+		+		7	246.07	4.39	2.10E-02	0.72
+	*				+		6	246.27	4.59	1.90E-02	0.76
				+	+		6	246.32	4.64	1.90E-02	0.78
		+			+		7	246.34	4.66	1.80E-02	0.8
+			+				6	246.54	4.86	1.70E-02	0.82
+					+	+	6	246.64	4.96	1.60E-02	0.83
		+	+				6	246.82	5.14	1.40E-02	0.85
		+			+	+	6	247.03	5.35	1.30E-02	0.86
+						+	5	247.14	5.46	1.20E-02	0.87
			+	+	+		7	247.29	5.61	1.10E-02	0.88
+				+	+	+	6	247.3	5.61	1.10E-02	0.9
		+				+	5	247.51	5.83	1.00E-02	0.91
				+		+	5	247.76	6.08	9.10E-03	0.91
+			+	+			6	247.76	6.08	9.00E-03	0.92
+				+	+		7	248.18	6.49	7.30E-03	0.93
+			+			+	7	248.27	6.59	7.00E-03	0.94
+		+			+		7	248.29	6.61	6.90E-03	0.95
		+	+		+	+	8	248.34	6.66	6.70E-03	0.95
		+	+			+	7	248.55	6.87	6.10E-03	0.96
		+		+	+		7	248.6	6.92	5.90E-03	0.96
+				+			6	248.87	7.19	5.20E-03	0.97
+		+					6	249.04	7.36	4.80E-03	0.97
+	*					+	6	249.14	7.46	4.50E-03	0.98
		+		+			6	249.33	7.64	4.10E-03	0.98
+		+	+				8	249.33	7.65	4.10E-03	0.99

Der dargestellte Graph der untersuchten Standortvariable Niederschlag basiert auf dem besten Modell der Modell-Selektion, in der die entsprechenden Variable enthalten war.

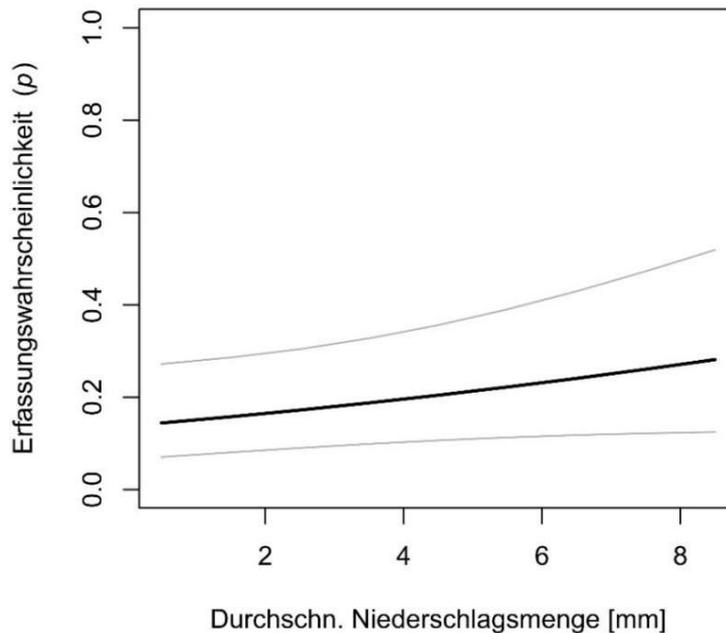


Abbildung 10 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der durchschnittlichen Niederschlagsmenge innerhalb einer Kontroll-Einheit ($\beta = 0.106$, $p = 0.0924$, 95%- Konfidenzintervall).

Die restlichen Graphen der untersuchten Variablen sind im Anhang dargestellt (Abbildung 29 -34).

3.3 Räumliche Autokorrelation

Die Berechnungen in ArcGIS ergaben, dass sowohl zwischen den einzelnen Fotofallen sowie den Quadraten keine räumliche Autokorrelation vorhanden war (Tabelle 9 im Anhang). Der z-score des Moran's Index war nicht signifikant und liegt bei 1.08. Auch bei den Quadraten lag keine Signifikanz vor und der z-score des Morans's Index lag bei -0.1. Betrachtete man die Fotofallen einzeln, war zu erkennen, dass drei Fallen der Quadrate 177 und 196 in der Region des Val Mingèr geklumpt waren. Zudem war ein Ausreisser in Quadrat 45 zu finden. Bei der einzelnen Betrachtung der Quadrate zeigte sich das Quadrat 177 als geklumpt.

3.4 Anzahl Fotofallen pro Quadrat

3.4.1 Veränderung der Erfassungswahrscheinlichkeit γ_i

Die Simulationen zu den Anzahl Fotofallen pro Quadrat ergaben eindeutige Ergebnisse. Die Veränderung der Erfassungswahrscheinlichkeit mit sinkender Anzahl Fotofallen war deutlich sichtbar (Tabelle 7, Abbildung 11). Der grösste Unterschied der Erfassungswahrscheinlichkeit bestand zwischen der Reduktion von zwei Fotofallen zu einer Fotofalle (0.1384). Darauf folgt der Unterschied, welcher durch die Reduktion von drei zu zwei Fotofallen verursacht wurde (0.1077). Am wenigsten veränderte sich die Erfassungswahrscheinlichkeit bei der Reduktion von vier zu drei Fotofallen (0.0923). Gut zu sehen war auch der Einfluss der Fotofalle mit den jeweils meisten Nachweisen pro Kontroll-Einheit. Wurden nur diese herangezogen, blieb die Erfassungswahrscheinlichkeit auf dem fast gleichen Niveau, wie wenn vier Fotofallen benützt wurden. Der Unterschied der Erfassungswahrscheinlichkeit betrug hier 0.0154.

Tabelle 7 Die Veränderung der Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Anzahl Fotofallen pro Quadrat. 4 = 4 Fotofallen pro Quadrat, 3 = 3 Fotofallen pro Quadrat, 2 = 2 Fotofallen pro Quadrat, 1 = Fotofallen pro Quadrat, stFF = Fotofalle mit der höchsten Anzahl an Nachweisen, Estimate γ = Schätzung der Erfassungswahrscheinlichkeit, Vorkommen $\Psi_i = 0.8667$.

Veränderung der Erfassungswahrscheinlichkeit γ_i				
Anzahl Fotofallen pro Quadrat	Estimate γ	Delta Estimate (Δ Est)	Standardfehler	95% KI
4	0.4769	0	0.062	0.3591-0.5973
3	0.3846	0.0923	0.0603	0.2749-0.5074
2	0.2769	0.2	0.0555	0.182-0.3974
1	0.1385	0.3384	0.0428	0.0736-0.2452
stFF	0.4615	0.0154	0.0618	0.3448-0.5826

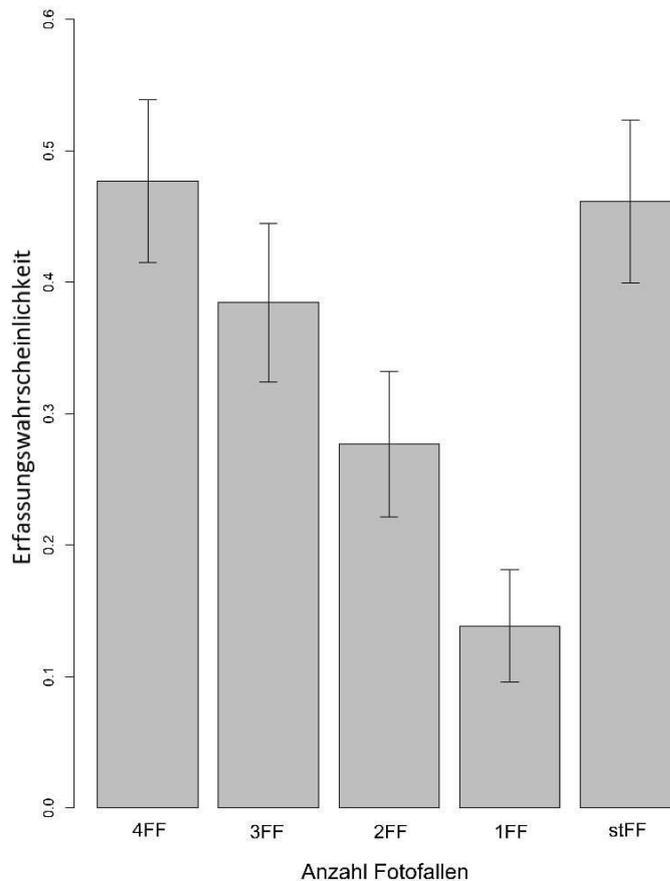


Abbildung 11 Sinkende Erfassungswahrscheinlichkeit mit sinkender Anzahl Fotofallen pro Quadrat. Werden die Daten der Fotofalle mit den meisten Nachweisen betrachtet, steigt die Erfassungswahrscheinlichkeit wiederum. 4FF = 4 Fotofallen pro Quadrat, 3FF = 3 Fotofallen pro Quadrat, 2FF = 2 Fotofallen pro Quadrat, 1FF = 1 Fotofalle pro Quadrat, stFF = Fotofalle mit der höchsten Anzahl an Nachweisen.

3.4.2 Veränderung im Standardfehler des Vorkommens Ψ_i

Wird der Einfluss der sich verändernden Erfassungswahrscheinlichkeit auf den Standardfehler des Fuchsvorkommens in einer Flächeneinheit untersucht, so wurde auch hier eine Veränderung sichtbar (Tabelle 8, Abbildung 12). Mit sinkender Anzahl an Fotofallen pro Quadrat stieg der Standardfehler des Vorkommens. Im Vergleich zum Standardfehler, berechnet mit vier Fotofallen pro Quadrat, nahm der Standardfehler mit drei Fotofallen um 0.0225 zu. Mit zwei Fotofallen waren es schon 0.0833 und bei nur einer Fotofalle pro Quadrat stieg der Standardfehler des Vorkommens um 0.2591. Der kleinste Unterschied (0.0027) war wiederum zu sehen, wenn jeweils die Fotofalle beachtet wurde, welche die

höchste Anzahl an Nachweise pro Quadrat und Kontroll-Einheit nachweisen konnte, gewählt wurde.

Tabelle 8 Steigender Standardfehlers in Abhängigkeit der sich verändernden Erfassungswahrscheinlichkeit. γ_{4FF} = Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von 4 Fotofallen pro Quadrat, γ_{3FF} = Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von 3 Fotofallen pro Quadrat, γ_{2FF} = Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von 2 Fotofallen pro Quadrat, γ_{1FF} = Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von 1 Fotofalle pro Quadrat, γ_{stFF} = Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Fotofalle mit der höchsten Anzahl an Nachweisen pro Quadrat und Kontroll-Einheit, Estimate ψ_i = Schätzung des Vorkommens.

Veränderung des Standardfehlers des Parameter Vorkommen

Erfassungswahrscheinlichkeit	Estimate ψ_i	Standardfehler	Delta Standardfehler (Δ_{std})	95% Konfidenzintervall
γ_{4FF}	0.8667	0.1029	0	0.5314 - 0.9739
γ_{3FF}	0.8667	0.1254	0.0225	0.4366 - 0.982
γ_{2FF}	0.8667	0.1862	0.0833	0.2165 - 0.9935
γ_{1FF}	0.8667	0.4453	0.2591	0.0034 - 0.9999
γ_{stFF}	0.8667	0.1056	0.0027	0.5203 - 0.975

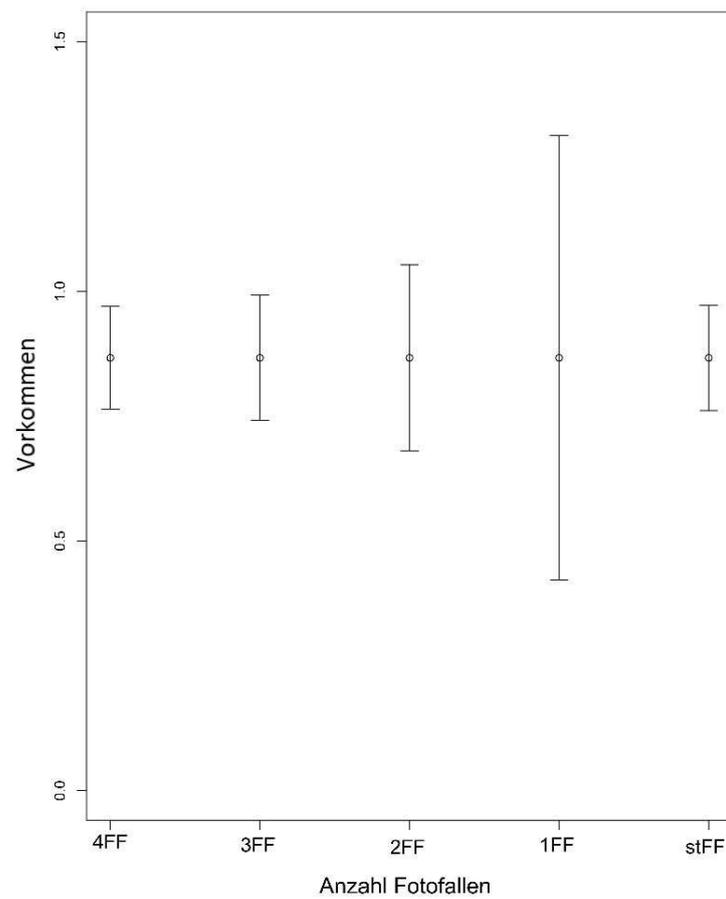


Abbildung 12 Steigender Standardfehler mit sinkender Anzahl Fotofallen pro Quadrat. 4FF = 4 Fotofallen pro Quadrat, 3FF = 3 Fotofallen pro Quadrat, 2FF = 2 Fotofallen pro Quadrat, 1FF = 1 Fotofalle pro Quadrat, stFF = Fotofalle mit der höchsten Anzahl an Nachweisen pro Quadrat und Kontroll-Einheit.

4 Diskussion

Insgesamt konnten mit den Fotofallen im Rahmen dieser Pilotstudie im Sommer 2016 im Schweizerischen Nationalpark (SNP) überraschend viele Nachweise von Rotfüchsen erbracht werden. Mit dieser Methode konnte ausserdem eine Vielzahl anderer Tierarten fotografiert werden. Die Aktivität der Rotfüchse konzentriert sich auf den Zeitraum der Dämmerung und der Nacht. Die Modell-Selektionen ergaben unklare Ergebnisse, mehrere Modellen mit einem $\Delta AIC_c \leq 2$ waren vorhanden. Durch die Vorselektion haben sich die Niederschlagsmenge, die Höhe über Meer, das Fischöl, Wald, die Hangneigung, die Distanz zum Wanderweg und die Lufttemperatur als wichtigste Variablen herausgestellt. Für keine der untersuchten Variablen konnte einen signifikanten Einfluss auf die Präsenz des Rotfuchses nachgewiesen werden. Die Analysen zur Erfassungswahrscheinlichkeit bestätigten die Resultate der Vorselektion. Die Simulationen zu den Anzahl Fotofallen pro Quadrat ergaben deutliche Ergebnisse.

4.1 Beeinflussende Standortvariablen

Die Vorselektion ergab kein eindeutiges Resultat. Es kamen verschiedene Modelle mit einem $\Delta AIC_c \leq 2$ vor, was zu keiner Differenzierung zwischen den Modellen führte (Burnham und Anderson 2002). Die Korrelation der untersuchten Standortvariablen mit der abhängigen Variable Präsenz war bei keiner Variable signifikant. Die Variablen Habitatklasse, Habitattyp, Exposition, Kameraausrichtung, Kontroll-Einheit waren nur mit einem höheren AIC_c in den Modellen vertreten und die einzelnen Kategorien zeigten keine signifikanten Korrelationen mit der Präsenz. Mit der Neueinteilung der Habitatklasse in Wald und nicht Wald verzeichnet die Variable nun in den ersten paar Modellen ein $\Delta AIC_c \leq 2$. Dennoch verhalf dies zu keiner einfacheren Aussage zum möglichen Einfluss der Habitatvariablen. Einzig die variierende Variable Niederschlag konnte eine positive Tendenz für eine Korrelation aufzeigen. Die Variablen Niederschlag, Höhe über Meer, Fischöl, Hangneigung, Distanz zum Wanderweg und Wald waren am meisten in den Modellen der Vorselektion vertreten.

Die Analysen, welche den Einfluss der wichtigsten Variablen auf die Erfassungswahrscheinlichkeit untersuchte, bestätigten die Ergebnisse der Vorselektion. Die Ergebnisse waren auch hier nicht eindeutig und es lagen nur zwei Modelle mit einem $\Delta AIC_c \leq 2$.

AIC von ≤ 2 vor. Zum einen war dies das Modell mit Niederschlag als Variable und das zweite das Null-Modell. Allerdings gelang es ebenso nicht bei dieser Modell-Selektion eine signifikante Korrelation zu erhalten. Einzig der Niederschlag zeigte wiederum eine positive Tendenz.

Diese leicht erhöhte Erfassungswahrscheinlichkeit bei erhöhtem Niederschlag weist darauf hin, dass die Füchse ihr Streifgebiet bei Niederschlag erweitern. Dadurch werden mehr Flächeneinheiten als gewöhnlich durchstreift. Dies könnte dazu führen, dass Flächeneinheiten besucht werden, welche sonst nicht besetzt werden. Ein weiterer Grund könnte die verminderte Anzahl an Touristen im Gebiet bei Schlechtwetter sein. Die Füchse fühlen sich möglicherweise weniger gestört und halten sich vermehrt in der Nähe der Wanderwege und somit auch eher in der Nähe der Fotofallen auf. Eine erhöhte Erfassungswahrscheinlichkeit bei Schlechtwetter durch die Kameras in der Nähe des Wanderweges konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Und da sich die Aktivität der Füchse vor allem auf den Zeitraum von 19.00 Uhr bis 7.00 Uhr in der Früh konzentrierte (Ausnahme 16.00) ist letztere Vermutung auszuschliessen. Ausserdem könnte ebenfalls die erhöhte Verbreitung des Fischölgeruchs bei feuchtem und warmen Wetter eine Rolle spielen. Überdies dürften Füchse, wie Hunde bei diesen Bedingungen (Syrotuck 1972), den Geruch verstärkt aufgenommen haben. Der mögliche Einfluss der Niederschlagsmenge auf die Präsenz des Rotfuchses würde bedeuten, dass die Erfassungswahrscheinlichkeit innerhalb einer Saison nicht konstant ist (Royle und Nichols 2003). Diese, durch den Niederschlag veränderte Erfassungswahrscheinlichkeit, sollte in den zukünftigen Analysen miteinberechnet werden. Es muss zusätzlich angefügt werden, dass die Daten zum Niederschlag und der Lufttemperatur von einer einzelnen Wetterstation (Buffalora) stammen. Dadurch kann der tatsächliche Niederschlag und die Lufttemperatur der einzelnen Fotofallenstandorte zum Ort dieser Wetterstation variieren und würde nicht dem verwendeten Wert entsprechen. Zudem wurde die durchschnittliche Niederschlagsmenge und Lufttemperatur für die jeweilige Kontroll-Einheit genutzt. Obwohl der Niederschlag sich als wichtigste Variable der Modell-Selektion erwies, müssen deshalb die Ergebnisse mit Vorsicht bewertet werden.

Ausserdem bevorzugen verschieden Säugetierarten für ihre Markierung offenes Gelände, Wege oder auffallende Objekte in der Landschaft (Monclús et al. 2009; Goszczyński 1990).

Das könnte in Zukunft genutzt werden, indem weiterhin vor die Fotofalle ein auffallendes Objekt zur Markierung gesetzt würde, um die Erfassungswahrscheinlichkeit zu erhöhen. Den durch Studien belegten positiven Effekt des offenen Geländes konnten allerdings in dieser Pilotstudie bei den Rotfüchsen im SNP nicht bestätigt werden. Der Versuch mit der Neueinteilung der Variable Habitatklasse in Wald und nicht-Wald zeigte ebenso keinen Effekt auf die Präsenz bzw. die Erfassungswahrscheinlichkeit der Füchse. Die in der Literatur gefundenen Annahmen über eine Bevorzugung von offenem Gelände scheint im Gebiet des SNPs nicht zuzutreffen. In dieser Pilotstudie wurden alle Fotofallen an einem Wechsel angebracht. Füchse bevorzugen auf ihren Rundgängen durch ihr Streifgebiet die Nutzung von Wegen und Rinnen (MacDonald 1979), womit auch die starke Nutzung von Wechsellinien angenommen wird. Auch von KORA (Koordinierte Forschungsprojekte zur Erhaltung und zum Management der Raubtiere in der Schweiz) wird empfohlen die Fotofallen schräg zu einem Wechsel anzubringen.

Die nur schwer zu unterscheidenden Modelle bestätigten hauptsächlich die Einteilung des Rotfuchses als Generalist und waren nicht allzu überraschend. Der Rotfuchs ist weltweit verbreitet und fühlt sich in verschiedensten Habitaten wohl (Labhardt 1990). Ein Gebiet wie der SNP, in dem auf einer relativ kleinen Fläche viel Raum für verschiedenste Habitate vorhanden ist und ein breites Nahrungsspektrum zur Verfügung steht, stellt sich für einen Generalisten als ideal dar. Die Nachweise auf den unterschiedlichen Höhenmetern und in den verschiedenen Habitatklassen und -typen zeigen, dass auch hier der Fuchs ein vielfältiges Habitat bevorzugt. Dennoch erschwert dies natürlich die Frage, an welchen Standorten im zukünftigen Langzeit-Monitoring die Fotofallen bestmöglich platziert werden sollen. Unter Umständen sind aber andere als hier verwendete Faktoren entscheidend. Oder die Positionierung spielt grundsätzlich nur eine untergeordnete Rolle, was für das kommende Monitoring-Projekt in dieser Hinsicht weitgehend freie Hand bedeuten würde.

4.2 Lockmittel Fischöl

Laut den Resultaten der Vorselektion sowie der darauffolgenden Modell-Selektion mit dem Paket *unmarked* scheint Fischöl als Lockmittel keine Wirkung auf eine Präsenz bzw. Erfassungswahrscheinlichkeit der Rotfüchse im SNP zu haben. Dies war insofern überraschend, da schon mehrere Studien eine Wirkung von Fisch als Köder für Karnivoren

nachweisen konnten (z.B. Long *et al.* 2008), womit Fischöl eine gewisse Wirkung hätte zeigen sollen.

Auf mehreren Bildern konnten Füchse beim Markieren des Lockpfosten durch Urinieren oder beim Beschnupern erfasst werden, ebenso wurden Marderlosung auf den Pfosten gefunden. Füchse bevorzugen bei ihrem Markierungsverhalten offenes Gelände und markante bzw. auffällige Strukturen in der Landschaft (Monclús *et al.* 2009; Goszczyński 1990; MacDonald 1979). Auch neu und nicht permanent vorkommende Gebilde, wie von Bäumen heruntergefallene Äste oder vergessener Abfall, werden öfters markiert (Goszczyński 1990). Der Lockpfosten, als attraktives Objekt in der Landschaft und der Geruch des Menschen, der zumindest am Anfang der Studie vorhanden war, kann eine gewisse Anziehung und Neugier bewirken. Visuelle Lockmittel, wie Federn und leuchtende Metallstücke, werden zur Anlockung bei Fotofallen verwendet, wobei dies meist bei Feliden eingesetzt wird (Long *et al.* 2008). Bei Kaniden werden meist olfaktorische oder akustische Reize (z.B. Mauspfeife) verwendet. Die erste Woche, in welcher noch kein Fischöl angebracht wurde und in der Hälfte der Zeit fünf Füchse nachgewiesen werden konnten, weist ebenfalls darauf hin, dass der Lockpfosten, unabhängig vom Fischöl, eine gewisse Anziehung bewirkt hat. Das dürfte mit ein Grund sein, warum Fischöl an sich keinen signifikanten Effekt zeigte und ein Hinweis sein, dass der Lockpfosten als Markierungsort oder vielleicht gar zusätzlich durch den Geruch des Menschen zu einer gewissen Anlockung führte.

Andrerseits erfolgte das eindeutige zuordenbare Verhalten Beschnupern oder Markieren des Lockpfostens nur bei Fotofallen mit Fischöl. Ob bei den restlichen Aufnahmen tatsächlich keines dieser beiden Verhalten stattgefunden hat oder lediglich der Sensor im falschen Moment ausgelöst wurde, kann nicht beurteilt werden. Daher sollte, trotz nicht-signifikanten Ergebnissen, die allgemein bekannte Wirkung eines Lockpfostens mit oder ohne Fischöl berücksichtigt werden.

Die Frage, ob das falsche Lockmittel verwendet wurde, ist schwierig zu beantworten. Statt dem Fischöl wären auch andere Lockmittel in Frage gekommen. Laut verschiedenen Autoren wirkt beispielsweise auch Hunde- oder Katzenfutter, Überreste von Fallwild, frisches Hühnerfleisch oder auch und Fuchsurin und -losung zur Anlockung von Füchsen (z.B. Long *et al.* 2008; Gompper *et al.* 2006). Ausser den beiden letzteren Fuchs-spezifischen Anreize

sollten die vorher genannten Ködern jedoch im SNP nicht genutzt werden. Für das Projekt im SNP stellt sich Fischöl als geeignet dar, da es einerseits einfach zu verwenden ist und leicht zur Verfügung steht und andererseits einen relativ kleinen Eingriff in die Natur bewirkt. Das Fischöl verteilt sich im Holz des Lockpfosten und wirkt vor allem durch den Geruch. Ein Einsatz von Fallwild oder Haustierfutter würde bedeuten, die Tiere im SNP aktiv zu füttern, was aufgrund der Länge und Grossräumigkeit des Langzeit-Monitorings nicht in Frage kommt. Auch die grossräumige und lange Nutzung von fremden Fuchsurin wäre wohl nicht geeignet, da dies die meist standorttreuen Füchse (Zeiler 2016) unnötig über eigentlich nicht vorhandene, fremde Artgenossen informieren würde.

Um die Wirkung des Fischöls zu überprüfen, wäre es womöglich optimaler gewesen, neben dem Fischöl auch den Lockpfosten wegzulassen. Du Preez *et al.* (2014) konnten in ihrer Studie über Leoparden (*Panthera pardus*) aufzeigen, dass die Anzahl Nachweise signifikant höher ist, wenn vor der Fotofalle rohes Fleisch an einem Baum angebracht wurde. Bei den Fotofallen ohne Köder wurde nichts angebracht. Kein Lockpfosten bei den Fallen ohne Fischöl anzubringen, hätte bei der hier vorliegenden Pilotstudie möglicherweise zu eindeutigeren Resultaten geführt.

Es stellt sich ferner die Frage, ob ein Lockmittel über eine grosse Distanz wirkt oder eine Anlockung nur im kleinräumigen Bereich bewirkt. Hätte ein Lockmittel eine anziehende Wirkung über grosse Distanzen, wäre der Einsatz von diesem diskussionswürdig. Die Methode von MacKenzie *et al.* (2003), auf welcher die Software PRESENCE basiert, setzt voraus, dass der Untersuchungsraum als geschlossen angesehen werden kann und die Erfassungswahrscheinlichkeit konstant ist. Wirkt das eingesetzte Lockmittel über weite Distanzen, würde dies möglicherweise Füchse von benachbarten Flächeneinheit anlocken, obwohl sie in dieser nicht vorkommen. Dadurch kommt es zu einer Verletzung der vorher genannten Annahmen und die Resultate zum Vorkommen der Zielart auf einer Flächeneinheit könnten verfälscht werden.

4.3 Anzahl Fotofallen pro Quadrat

Die vorgenommenen Simulationen zeigten, dass die Erfassungswahrscheinlichkeit mit sinkender Anzahl an Fallen pro Quadrat abnahm. Die Unterschiede der Abnahme waren umso grösser, je weniger Fallen pro Fläche aufgestellt wurden. Wenn nur die Falle mit den

meisten Nachweisen berücksichtigt wird, stieg die Erfassungswahrscheinlichkeit beinahe auf das Niveau der Standorte mit vier Fotofallen.

Auch die Veränderung des Standardfehlers des Vorkommens war gut sichtbar. Mit der sinkenden Anzahl an Fotofallen bzw. mit der abnehmenden Erfassungswahrscheinlichkeit pro Quadrat stieg der Standardfehler des Vorkommens. Bei der Falle mit den meisten nachgewiesenen Füchsen sank dieser wieder annähernd auf das Ausmass mit vier Kamerafallen.

Dementsprechend zeigen die Resultate, dass eine einzige optimal gesetzte Fotofalle in einem Quadrat ausreichen würde, um ähnliche Ergebnisse mit vier Fotofallen zu erzielen. Dadurch könnte das Monitoring auf deutlich mehr Quadrate ausgeweitet werden, ohne die Anzahl Fotofallen zu erhöhen. Gewiss ist es jedoch nicht möglich ohne die beeinflussenden Standortfaktoren zu kennen, zu entscheiden, wo diese einzelnen Fallen gesetzt werden sollten.

Es ist durchaus denkbar, wenn für die Fotofallen andere zufällig gewählte Standorte festgelegt worden wären, die Resultate möglicherweise gegenüber in der vorliegenden Pilotstudie unterschiedlich ausgefallen wären. Dennoch zeigt der Verlauf der sinkenden Erfassungswahrscheinlichkeit und des erhöhten Standardfehlers, dass eine Reduktion der Fotofallen eine deutliche Auswirkung hat und die Anwendung von optimal gesetzten Fotofallen eine starke Reduzierung der Fallen pro Quadrat erlauben würden.

4.4 Anmerkungen zur Methode

Der zeitliche Verlauf der Nachweise zeigte, dass eine Meidung der Fotofallen, beispielsweise ausgelöst durch den Blitz, nicht angenommen werden muss. Im Untersuchungszeitraum wurden die Füchse vermehrt während des Sommers im 2. Drittel registriert. Dabei konnten an ein Tag einmal (4. August) maximal 4 Füchse fotografisch festgehalten werden gefolgt von 3 Nachweisen (25. August). Ansonsten ist kein klares Muster erkennbar.

Um die Erfassungswahrscheinlichkeit konstant zu halten wurde in dieser Masterarbeit die Jungfüchse nicht mit einberechnet. Darauf muss bei den zukünftigen Auswertungen streng geachtet werden, andernfalls würde diese Annahme verletzt (MacKenzie *et al.* 2006).

Darüber hinaus könnte die schwach vorliegende Tendenz der Niederschlagsmenge berücksichtigt werden.

Die in Capt und Stalder (1991) beschriebene variable Raumnutzung der Rotfuchse im alpinen Raum sollten entsprechend bei der späteren, räumlichen und saisonalen Ausdehnung des Langzeit-Monitorings bei der Analyse beachtet werden.

Gemäss MacKenzie *et al.* (2002) leistet eine grössere Fallengeschichte u.a. einen Beitrag zur verbesserten Richtigkeit und Genauigkeit zur Schätzung des Vorkommens. Zwar ist zwischen einer Fallengeschichte von 5 Einheiten zu 10 Einheiten kein grosser Unterschied feststellbar, jedoch zwischen 2 und 5 Einheiten. Auch die erhöhte Anzahl an Flächeneinheiten hat einen positiven Effekt auf die Genauigkeit der Schätzung des Vorkommens. Die Fallengeschichte von 5 Einheiten stellt sich somit als ideal dar und muss nicht erhöht werden. Ebenso würde die geplante räumliche Erweiterung eine Schätzung des Vorkommens optimieren.

Da es sich beim geplanten Monitoring um ein Langzeit-Projekt handelt, welches mindestens während der nächsten zwanzig Jahren durchgeführt wird, sollten ferner die sich verändernden klimatischen Bedingungen nicht ausser Acht gelassen werden. Diese Veränderungen können bewirken, dass im Winter weniger Schnee liegen wird (Beniston *et al.* 2003), was sich auf die Nahrungsverfügbarkeit auswirken kann und somit das räumliche Verhalten des Rotfuchses beeinflussen würde. Sowohl im Verlauf der Jahre könnte dies eine bergwärts Bewegung bedeuten, aber auch, dass sich die Tiere innerhalb eines Jahres, in Wintern mit wenig Schneefall, im Mittel in höheren Lagen befinden werden. Zwanzig Jahre sind bei den heutigen klimatischen Veränderungen eine lange Zeit und gerade die Arten in den alpinen Regionen sind davon betroffen (Beniston *et al.* 2003). Daher ist es wichtig die klimatischen Veränderungen in den Berechnungen, zu dem sich verändernden Vorkommen in den untersuchten Flächeneinheiten, zu berücksichtigen.

5 Ausblick und Schlusswort

Die schwachen Ergebnisse der Pilotstudie lassen keine eindeutigen Schlüsse für die Standortwahl der Fotofallen zu. Das Ziel, im zukünftigen Monitoring die Anzahl an Fallen pro Quadrat zu reduzieren, ist daher nicht ganz leicht umzusetzen. Die Resultate zeigten aber deutlich, dass eine Reduzierung durchaus möglich wäre.

Die Literatur weist zwar auf optimalere Standortwahl hin, wenn offenes Gelände für die Fotofallen-Standorte gewählt wird. Die Resultate dieser Pilotstudie zeigten keinen Einfluss einer Standortvariable auf die Präsenz bzw. die Erfassungswahrscheinlichkeit des Rotfuchses. Mehrmals konnten auf den Bildern ein Fuchs beim Beschnuppern oder Markieren des Lockpfostens gezeigt werden. Daher sollte, trotz den Resultaten, eine gewisse Wirkung durch den Lockpfosten oder das Fischöl, zumindest im kleinräumigen Bereich, nicht ausser Acht gelassen werden. Wird im zukünftigen Monitoring kein Fischöl mehr genutzt, sollte zumindest als auffallendes Objekt ein Lockpfosten vor der Fotofalle aufgestellt werden. Dieser müsste neu gesetzt werden, damit nicht der letztjährige verwendet wird, welcher nun ein Jahr im Gelände gestanden hat. Zudem sollte die Fotofalle schräg zu einem Wechsel platziert werden, um die Wahrscheinlichkeit für die Erfassung zu maximieren. Diese Empfehlungen sollten aber aufgrund der unklaren Ergebnissen mit Vorsicht umgesetzt werden.

Das Fotofallen-Monitoring, als Teilprojekt des Langzeit-Monitorings, stellt für den Schweizerischen Nationalpark eine interessante Möglichkeit dar, passiv eine hohe Datenmenge von Rotfüchsen zu sammeln und mit den Beifängen ein grosses Artenspektrum zu erreichen. Die Grenzen von Präsenz-Absenz Daten sind natürlich vorhanden. Gerade deswegen ist es umso wichtiger, neue Ansätze und Methoden anzuwenden und aus den Daten rauszuholen, was machbar ist und diese nicht zu überbewerten. Alternative Ansätze, wie die Schätzung der *Site Occupancy*, sind daher interessant. Insbesondere dann, wenn die Zielarten eine grossräumige Raumnutzung nachweisen, eher selten gesichtet werden und individuell schwer zu unterscheiden sind. Dies sind Merkmale, welche auf den Rotfuchs zutreffen.

6 Literaturverzeichnis

Anderwald, Pia (2016): Proposal für ein Rotfuchs-Monitoring im Schweizerischen Nationalpark. Schweizerischer Nationalpark.

ArcGIS Resources (2014): Spatial Statistics toolbox. ESRI Inc., Redlands, CA, USA.

Beniston, M.; Keller, F.; Goyette, S. (2003): Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions. An empirical approach for climate impacts studies. *Theoretical and Applied Climatology*. 74 (1-2): 19–31.

Berger, K. M.; Gese, E. M.; Berger, J. (2008): Indirect effects and traditional cascades: a Test involving Wolves, Coyotes, and Pronghorn. *Ecology*. 89 (3): 818–828.

Bolker, B. M.; Brooks, M. E.; Clark, C. J.; Geange, S. W.; Poulsen, J. R.; Stevens, M. H. H.; White, J.-S. S. (2009): Generalized linear mixed models. A practical guide for ecology and evolution. *Trends in ecology & evolution*. 24 (3): 127–135.

Burnham, K. P.; Anderson, D. R. (2002): Model selection and multimodel inference: A practical information theoretic approach, second edition. New York: Springer.

Capt, S.; Stalder, H. (1991): Aspekte der Raumnutzung von Füchsen im alpinen Raum. *Schriften des Arbeitskreises Wildbiologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen*. 20: 33-38..

Du Preez, B. D.; Loveridge, A. J.; MacDonald, D. W. (2014): To bait or not to bait. A comparison of camera-trapping methods for estimating leopard *Panthera pardus* density. *Biological Conservation*. 176: 153–161.

Fawcett, J. K.; Fawcett, J. M.; Soulsbury, C. D. (2013): Seasonal and sex differences in urine marking rates of wild red foxes *Vulpes vulpes*. *Journal of Ethology*. 31 (1): 41–47.

Gompper, M. E.; Kays, R. W.; Ray, J. C.; Lapoint, S. D.; Bogan, D. A.; Cryan, J. R. (2006): A comparison of noninvasive techniques to survey carnivore communities in northeastern North America. *Wildlife Society Bulletin*. 34 (4): 1142–1151.

Goszczyński, J. (1990): Scent marking by red foxes in Central Poland during the winter season. *Acta Theriologica*. 35(1-2): 7–16.

Hines, J. E. (2006a): PRESENCE- Software to estimate patch occupancy and related parameters. USGS-PWRC. Version 11.2.

- Hines, J. E. (2006b): GENPRES-Software to generate patch occupancy data and analyze using MARK or PRESENCE. Version 160406.0857.
- Kéry, M.; Royle, J. A. (2015): applied hierarchical modeling in ecology: Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS. Volume 1: Prelude and static models. 1st Edition. San Diego: Academic Press.
- Labhardt, F. (1990): Der Rotfuchs. Naturgeschichten, Ökologie und Verhalten dieses erstaunlichen Jagdwildes. Hamburg und Berlin: Paul Parey.
- Long, R. A.; MacKay, P.; Zielinski, W. J.; Ray, J. C. (2008): Noninvasive survey methods for carnivores. Washington, DC, USA: Island Press.
- MacDonald, D. W. (1979): Some observations and field experiments on the urine marking behaviour of the Red Fox, *Vulpes vulpes* L. *Zeitschrift fuer Tierpsychologie*. 51: 1–22.
- MacKenzie, D. I.; Bailey, L. L. (2004): Assessing the fit of site-occupancy models. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 9. (3): 300–318.
- MacKenzie, D. I.; Nichols, J. D.; Hines, J. E.; Knutson, M. G.; Franklin, A. B. (2003): Estimating site occupancy, colonization, and local extinction when a species is detected imperfectly. *Ecology*. 84 (8): 2200–2207.
- MacKenzie, D. I.; Nichols, J. D.; Lachman, G. B.; Droege, S.; Royle, J. A.; Langtimm, C. A. (2002): Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology*. 83 (8): 2248–2255.
- MacKenzie, D. I.; Nichols, J. D.; Royle, J. A.; Pollock, K. H.; Bailey, L. L.; Hines, J. E. (2006): Occupancy estimation and modeling: Inferring patterns and dynamics of species occurrence. Burlington, San Diego, London: Academic Press.
- Molinari-Jobin, A.; Zimmermann, F.; Ryser, A.; Molinari, P.; Breitenmoser-Würsten, C.; Capt, S.; Breitenmoser, U.; Haller, H.; Eyholzer, R.: (2007): Variation in diet, prey selectivity and home-range size of Eurasian lynx *Lynx lynx* in Switzerland. *Wildlife Biology*. (13): 393–405.
- Monclús, R.; Arroyo, M.; Valencia, A.; Miguel, F. J. (2009): Red foxes (*Vulpes vulpes*) use rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) scent marks as territorial marking sites. *Journal of Ethology*. 27 (1): 153–156.

- Murack, J. (2015): Spatial statistics: Spatial autocorrelation workshop exercise. MIT OpenCourseWare. Massachusetts Institute of Technology (MIT) Libraries.
- O'Connell, A. F.; Nichols, J. D.; Karanth, K. U. (Hg.) (2011): Camera traps in animal ecology. Tokyo: Springer Japan.
- Patalano, M.; Lovari, S. (1993): Food habits and trophic niche overlap of the wolf (*Canis lupus*, L. 1758) and the Red fox (*Vulpes vulpes*, L. 1758) In a mediterranean mountain area. *Revue d'écologie: la terre et la vie*. (48): 279–294.
- Perrine, J. D. (2005): Ecology of Red Fox (*Vulpes vulpes*) in the Lassen Peak Region of California, USA. Dissertation. Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley.
- Quinn, G. P.; Keough, M. J. (2002): Experimental Design and Data Analysis for Biologist. Cambridge, Großbritannien: Cambridge University Press.
- R Core Team (2016): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- RStudio Team (2016). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA, USA.
- Ripple, W. J.; Beschta, R. L. (2012): Trophic cascades in Yellowstone. The first 15 years after wolf reintroduction. *Biological Conservation*. 145 (1): 205–213.
- Royle, J. A.; Nichols, J. D. (2003): Estimating Abundance From Repeated Presence-Absence Data or Point Counts. *Ecology*. 84 (3): 777–790.
- Syrotuck, W. G. (1972): Scent and the scenting dog. 4. Auflage. Mechanicsburg, PA, USA: Barkleigh Productions.
- Vojta, C. (2005): Old Dog, New Tricks. Innovations with Presence–Absence Information. *Journal of Wildlife Management*. 69 (3): 845–848.
- Zeiler, H. (2016): Fuchs. Wien: Österreichischer Jagd- und Fischerei-Verlag.
- Zuur, A. F.; Ieno, E. N.; Elphick, C. S. (2010): A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*. 1 (1): 3–14.

Zuur, A. F.; Leno, E. N.; Walker, N. J.; Saveliev, A. A.; Smith, G. M. (2009): Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York: Springer.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet der Pilotstudie.....	9
Abbildung 2: Lockposten mit Fischöl.....	10
Abbildung 3: Beispiel einer montierten Fotofalle.....	10
Abbildung 4: Der Frequenz-Plot für die Anzahl Nachweise.....	15
Abbildung 5: Darstellung der zufällig gewählten Fotofallen.....	18
Abbildung 6: Anzahl Nachweise der Rotfuchse im Sommer 2016.....	19
Abbildung 7: Anzahl Nachweise pro Fotofallen während den fünf Kontroll-Einheiten.....	20
Abbildung 8: Rotfuchs beim Beschnuppern eines Lockpostens.....	21
Abbildung 9: Rotfuchs beim Markieren eines Lockpostens.....	21
Abbildung 10: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge.....	28
Abbildung 11: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Anzahl Fotofallen.....	30
Abbildung 12: Standardfehler des Vorkommens Abhängigkeit der Anzahl Fotofallen.....	32
 Im Anhang:	
Abbildung 13: Übersichtskarte mit der detaillierten Nummerierung der Fotofallenstandorte.....	48
Abbildung 14: Aktivitätsmuster der nachgewiesenen Rotfuchse im Schweizerischen Nationalpark.....	49
Abbildung 15: Verteilung der Anzahl Nachweise innerhalb einer Kontroll-Einheit.....	49
Abbildung 16: Anzahl Nachweise pro Tag.....	50
Abbildung 17: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge.....	51
Abbildung 18: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Höhe.....	51
Abbildung 19: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Hangneigung.....	51
Abbildung 20: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Distanz zum Wanderweg.....	51
Abbildung 21: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit des Fischöls.....	52
Abbildung 22: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit von Wald nicht-Wald.....	52
Abbildung 23: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Habitatklasse.....	52
Abbildung 24: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit des Habitattyps.....	52
Abbildung 25: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Kameraausrichtung.....	53
Abbildung 26: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Exposition.....	53
Abbildung 27: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Kontroll-Einheit.....	53
Abbildung 28: Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Tagestemperatur.....	53
Abbildung 29: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Hangneigung.....	54
Abbildung 30: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Lufttemperatur.....	54
Abbildung 31: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Distanz zum Wanderweg.....	55

Abbildung 32: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Wald nicht-Wald	55
Abbildung 33: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Fischöls	56
Abbildung 34: Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Höhe	56

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Standortvariablen und ihre Herkunft.....	12
Tabelle 2: 1. Modell-Selektion (Vorselektion).....	23
Tabelle 3: 3. Modell-Selektion (Vorselektion).....	24
Tabelle 4: 4. Modell-Selektion (Vorselektion).....	25
Tabelle 5: 5. Modell-Selektion (Vorselektion).....	26
Tabelle 6: Modell-Selektion mit <i>unmarked</i>	27
Tabelle 7: Veränderung der Erfassungswahrscheinlichkeit	29
Tabelle 8: Veränderung des Standardfehlers des Parameter Vorkommen	31
 Im Anhang:	
Tabelle 9: Werte der Cluster Outlier und der Hotspot Analyse (Autokorrelation).....	57

9 Anhang

9.1 Nummerierung der Fotofallenstandorte

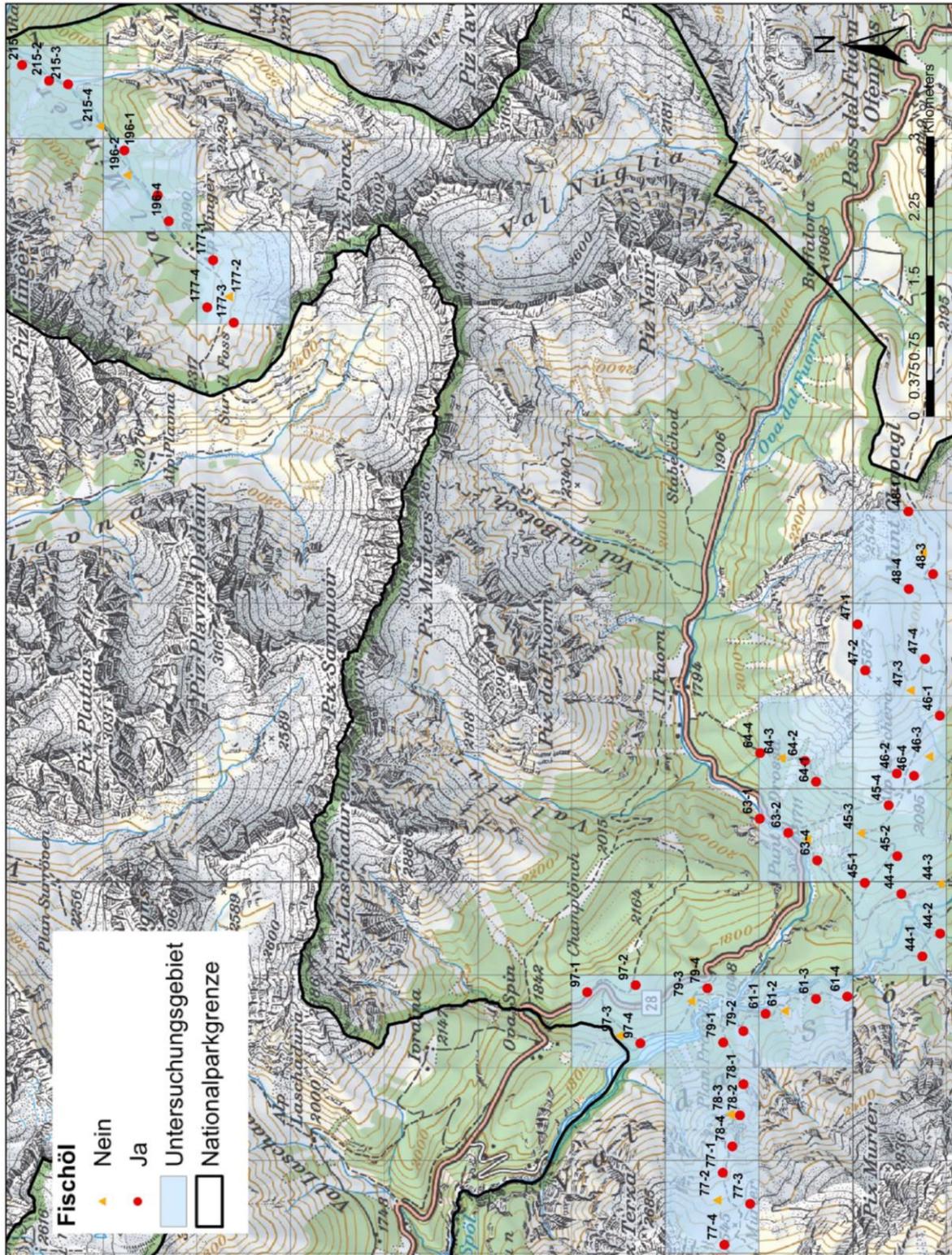


Abbildung 13 Detaillierte Nummerierung der Fotofallenstandorte. Dafür wurde jeweils die Nummer des Quadrates genutzt, sowie die Fallen des jeweiligen Quadrates von 1 - 4 durchnummeriert.

9.2 Allgemeine Angaben

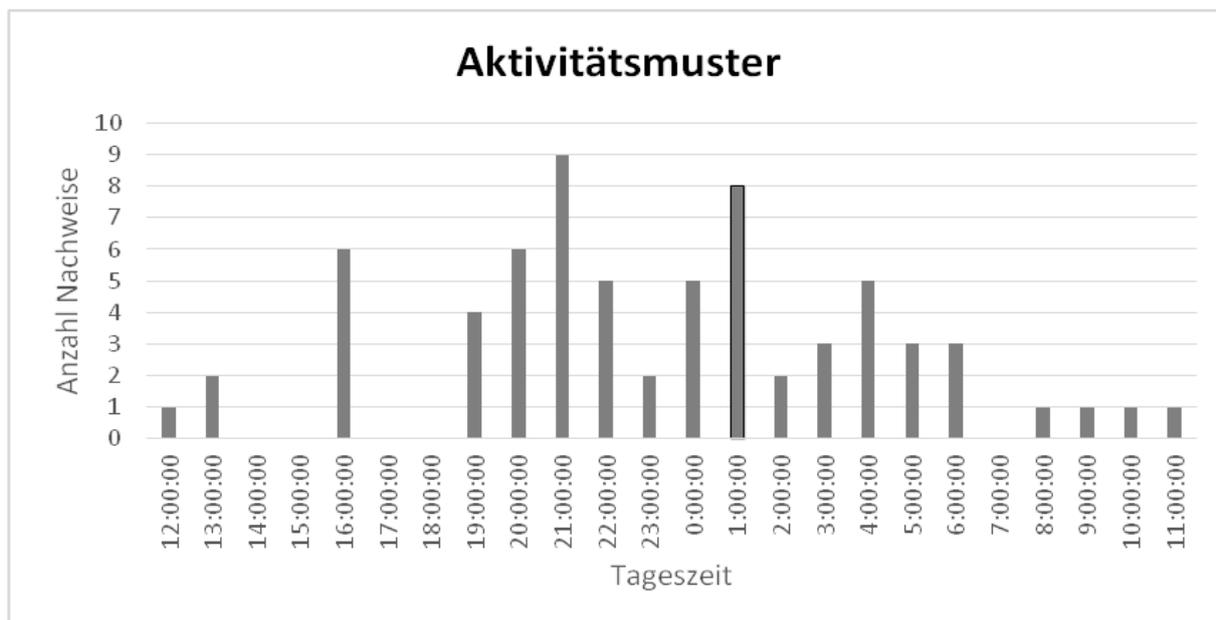


Abbildung 14 Aktivitätsmuster der nachgewiesenen Rotfüchse im Schweizerischen Nationalpark. Die Aktivität konzentriert sich auf den Zeitraum zwischen 19.00 Uhr und 7.00 Uhr. Dabei sind zwei Piks zwischen 21.00 - 22.00 und zwischen 01.00 - 02.00 Uhr zu beobachten. Es gibt eine Ausnahme von 6 Nachweisen zwischen 16.00 - 17.00 und einige einmalige Nachweise während des restlichen Tages.

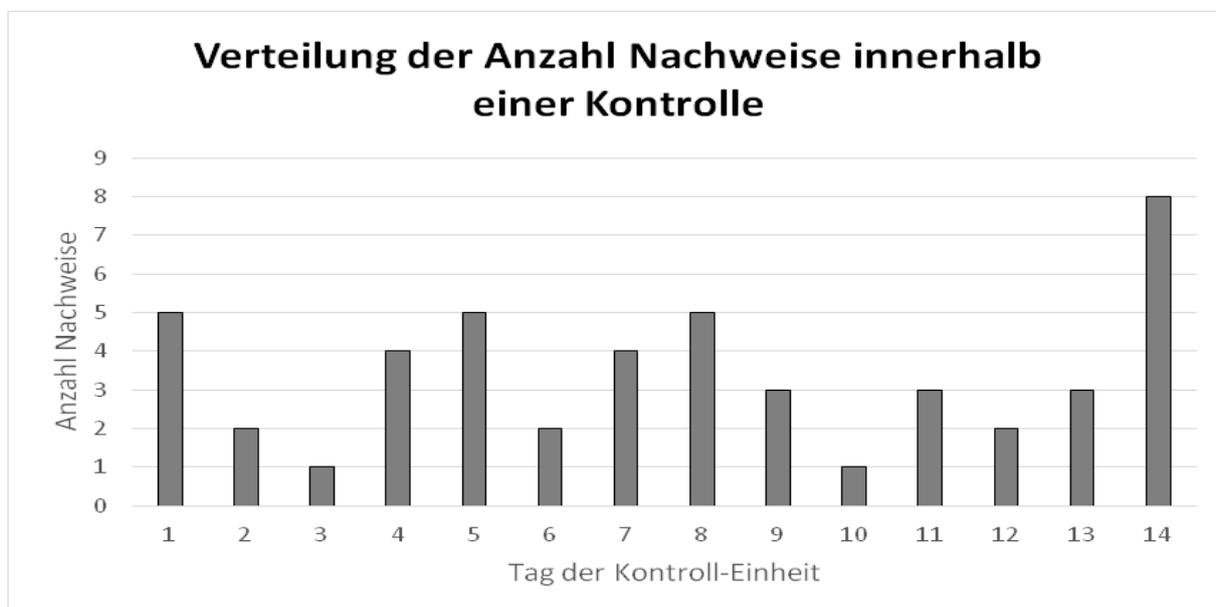


Abbildung 15 Verteilung der Anzahl Nachweise innerhalb einer Kontroll-Einheit. Eine Kontroll-Einheit beinhaltet 14 Tage. Die Nachweise haben, über den Sommer gesehen, an jedem einzelnen Tag der Kontroll-Einheiten mindestens einmal stattgefunden. Beim Tag 1, 5 und 8 waren es insgesamt je 5 Nachweise. Am Tag 14 wurden mit 8 Individuen die meisten Füchse nachgewiesen.

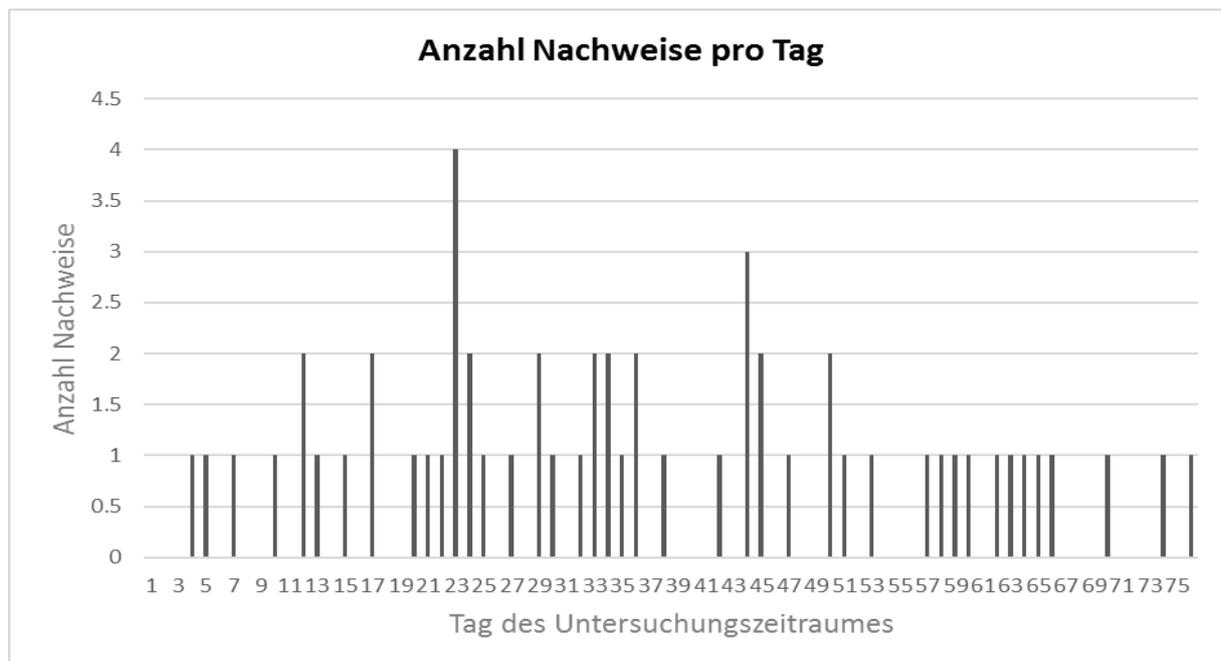


Abbildung 16 Anzahl Nachweise pro Tag. Die Nachweise der Rotföhse konnten über den ganzen Untersuchungsraum festgestellt werden. Ein Anstieg der Nachweise ist im 2. Drittel des Untersuchungszeitraumes zu beobachten. Das Maximum von Nachweisen an einem Tag hat am Tag 30 (4. August) der Studie stattgefunden.

9.3 Vorselektion

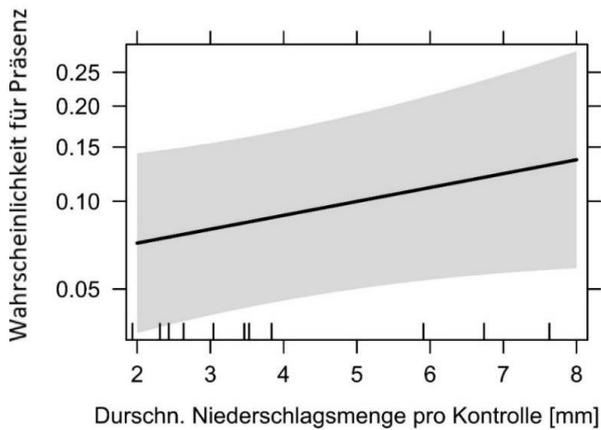


Abbildung 17 Die Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge. Die Korrelation ist nicht signifikant ($\beta = 0.1183$, $p = 0.088$).

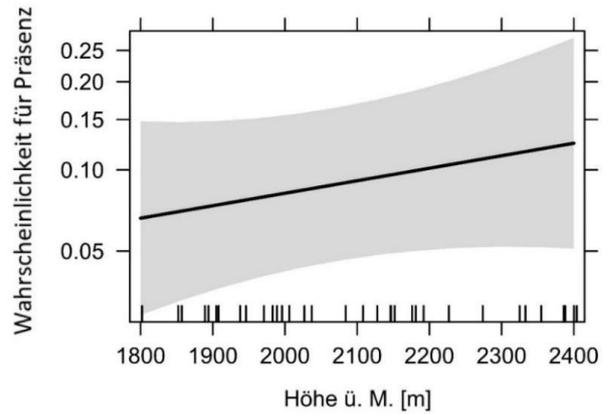


Abbildung 18 Die Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Höhe über Meer. Die Korrelation ist nicht signifikant ($\beta = 0.00115$, $p = 0.266$).

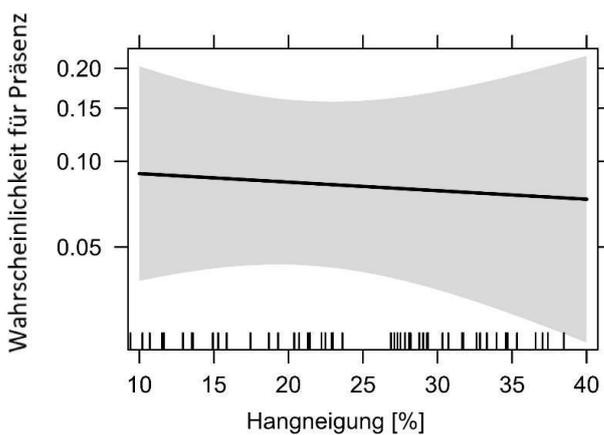


Abbildung 19 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Hangneigung. Die Korrelation ist nicht signifikant.

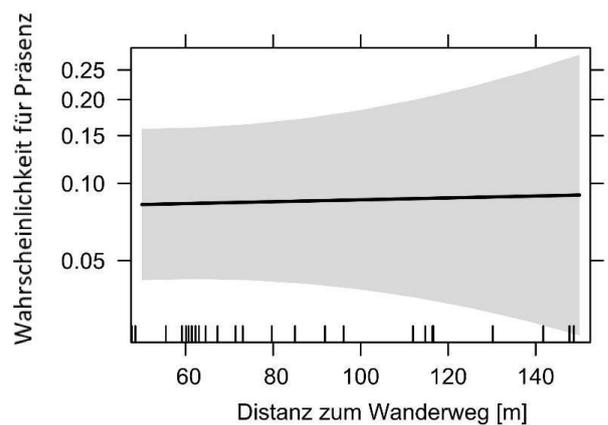


Abbildung 20 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Distanz zum Wanderweg. Die Korrelation ist nicht signifikant.

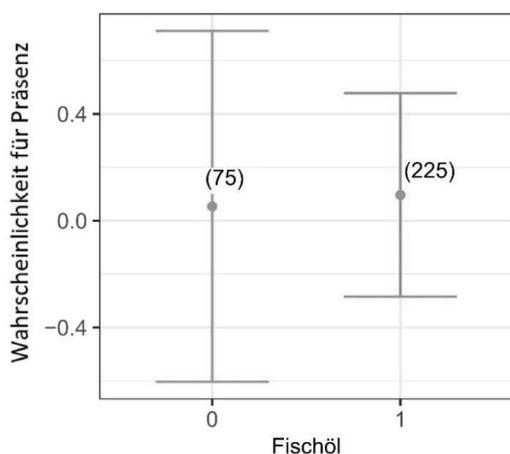


Abbildung 21 Die Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Fischöl. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll- Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen kein Fischöl und die Nutzung von Fischöl ($\beta = 0.6306$, $p = 0.35$).

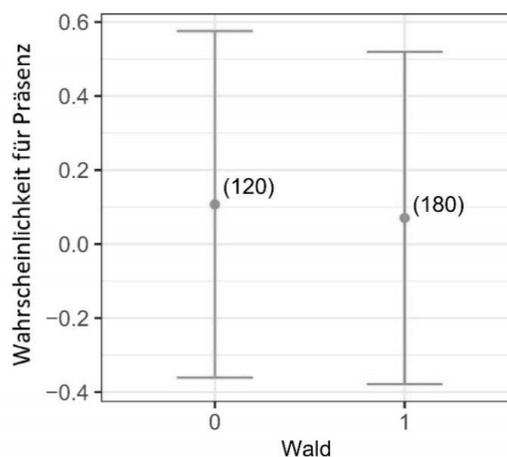


Abbildung 22 Die Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Wald. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll- Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen offenem Gelände und Wald ($\beta = -0.4618$, $p = 0.413$).

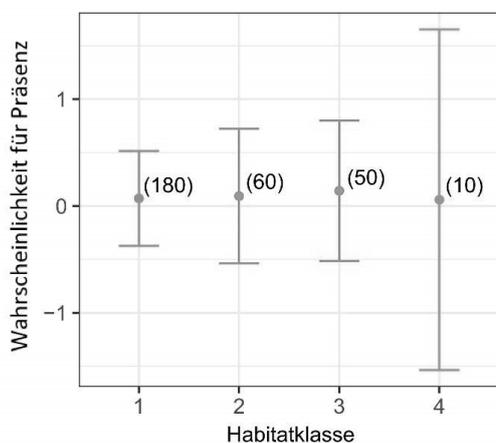


Abbildung 23 Die Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Habitatklasse. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll- Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Habitatklassen

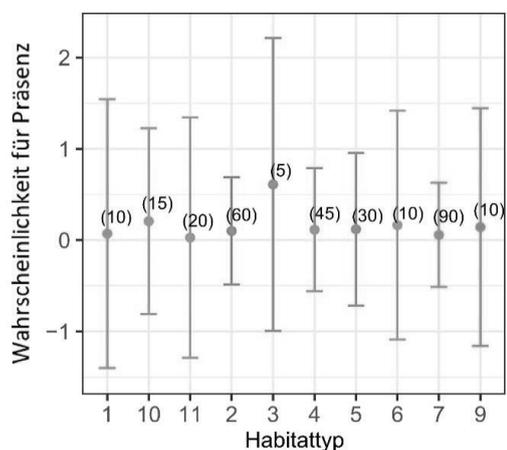


Abbildung 24 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Habitattyp. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll- Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Habitattypen.

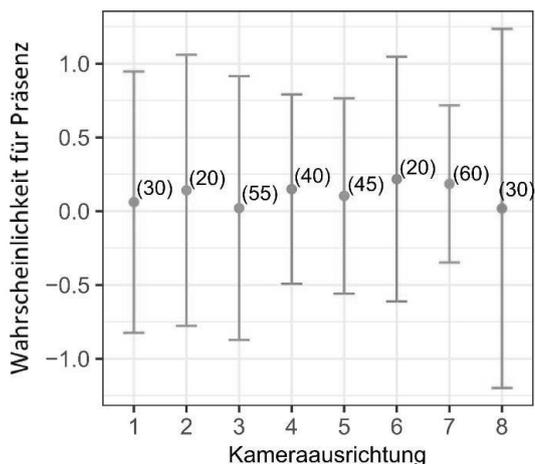


Abbildung 25 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Kameraausrichtung. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll- Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Kameraausrichtungen.

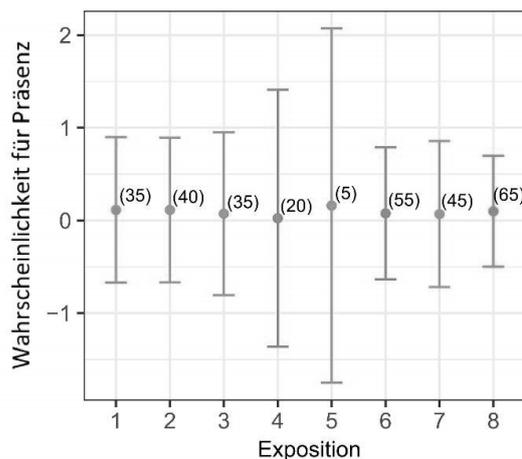


Abbildung 26 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Exposition. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll-Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Expositionen.

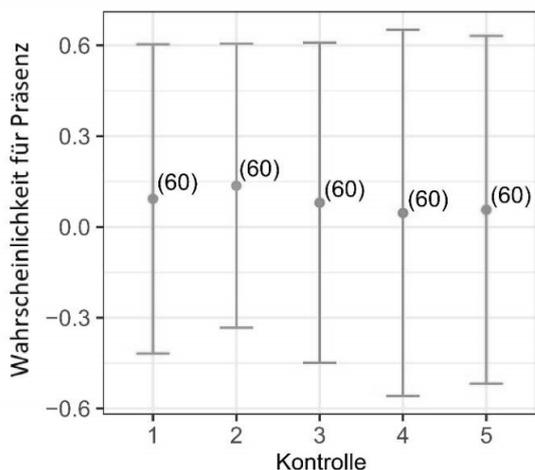


Abbildung 27 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Kontroll-Einheit. In der Klammer ist die Stichprobengröße bzw. die Anzahl Kontroll- Ereignisse der jeweiligen Kategorie angegeben. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Kontroll-Einheiten.

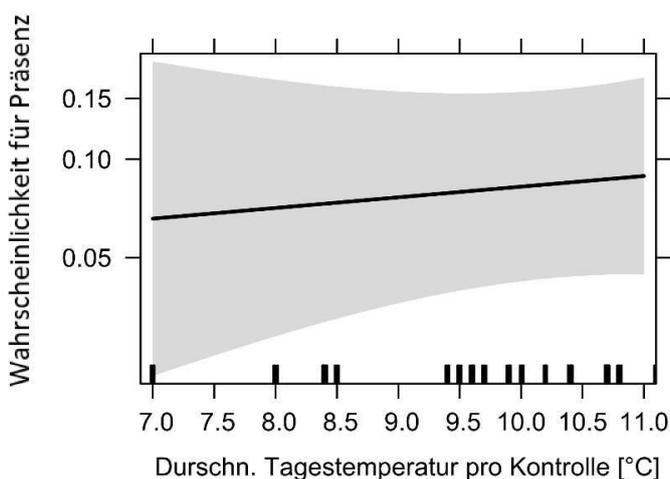


Abbildung 28 Wahrscheinlichkeit für Präsenz in Abhängigkeit der Variable Tagestemperatur. Die Korrelation ist positiv, nicht signifikant.

9.4 Paket unmarked

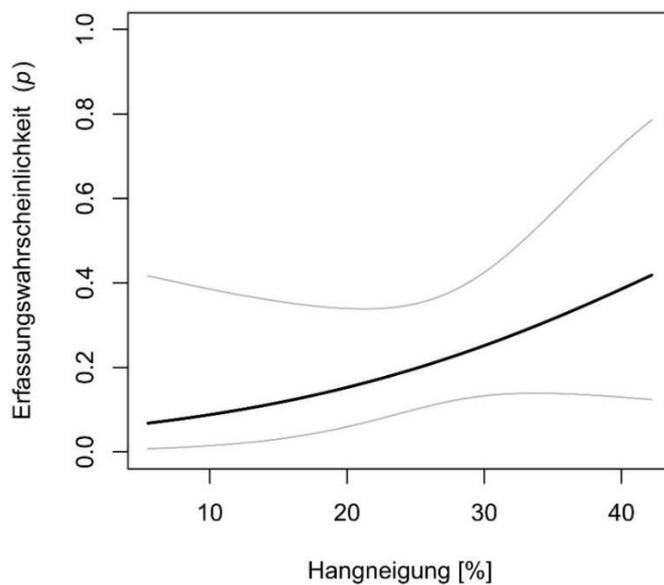


Abbildung 29 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Hangneigung ($\beta = 0.0624$, $p = 0.2129$, 95%- Konfidenzintervall).

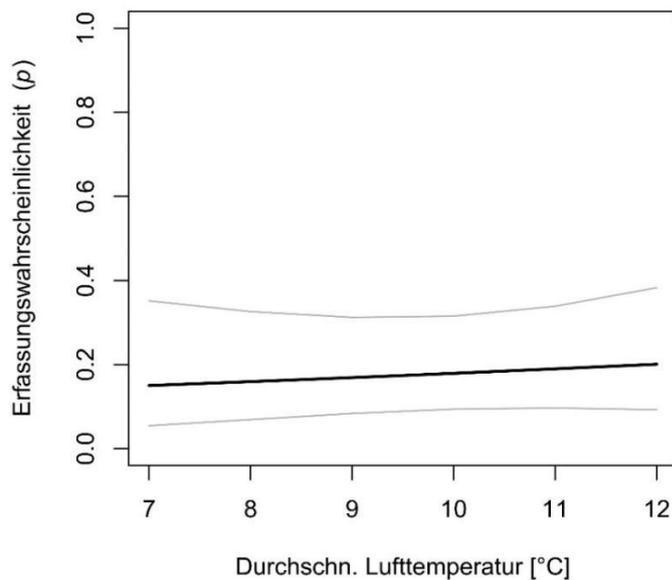


Abbildung 30 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der durchschnittlichen Lufttemperatur innerhalb einer Kontroll-Einheit ($\beta = 0.0706$, $p = 0.608$, 95%- Konfidenzintervall).

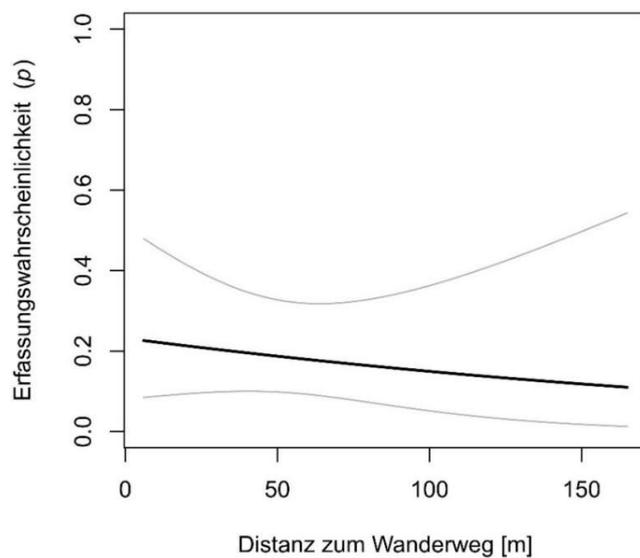


Abbildung 31 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Distanz zum Wanderweg ($\beta = -0.0054$, $p = 0.5756$, 95%-Konfidenzintervall).

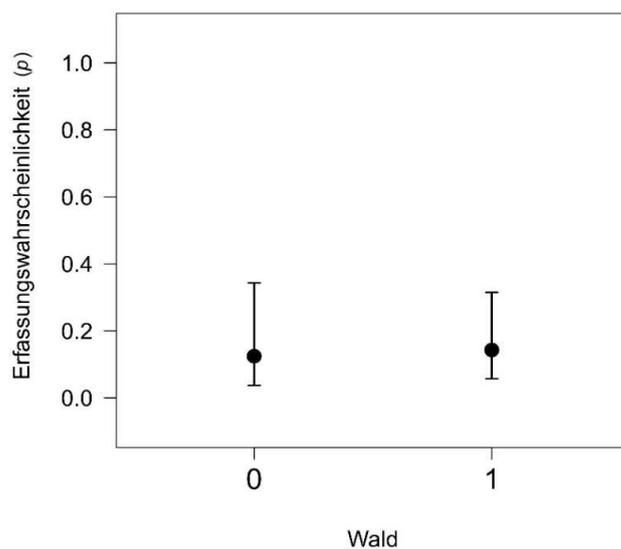


Abbildung 32 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Wald ($\beta = 0.161$, $p = 0.84123$, 95%-Konfidenzintervall). 0 = kein Wald, 1 = Wald.

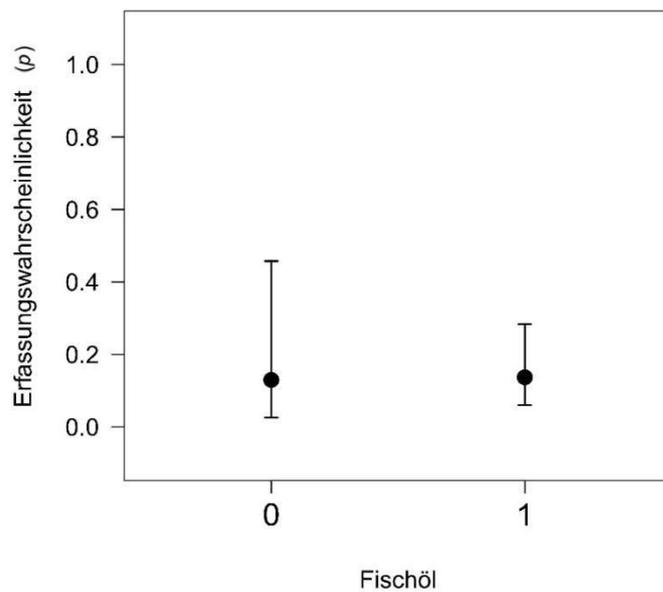


Abbildung 33 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Fischöls ($\beta = 0.063$, $p = 0.9483$, 95%-Konfidenzintervall). 0 = kein Fischöl, 1 = Fischöl.

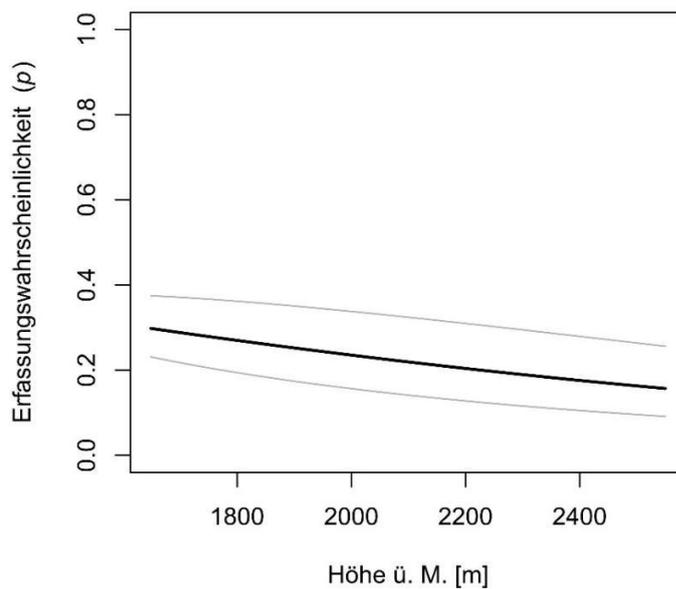


Abbildung 34 Die Erfassungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Höhe über Meer ($\beta = -0.000915$, $p = \text{NaN}$, 95%-Konfidenzintervall).

9.5 Autokorrelation

Tabelle 9 Werte der Cluster Outlier Analyse (Moran's Index) und der Hotspot Analyse (Observed General G).

Autokorrelation der einzelnen Fotofallen und Quadrate			
Parameter	Fotofalle (Distanz: 1000m)		Quadrat (Distanz: 2000m)
Moran's Index	0.067559		-0.093959
Expected Index	-0.016949		-0.071429
Variance	0.006046		0.029862
z-score	1.086868		-0.130380
p-value	0.277095		0.896266