

Risikoanalyse als integrierender Bestandteil des Waldbrandmanagements im Schweizerischen Nationalpark

Masterarbeit

von

Marianne Bosshard

am Geographischen Institut der Universität Zürich-Irchel

Unter der Leitung von:
Dr. Britta Allgöwer

Fakultätsvertreter:
Prof. Dr. Robert Weibel

Abgabetermin: 30. April 2009

„Somewhere in a forest below the vast western sky, this is the moment of death and the moment of birth. If the tinder is dry, the oils potent and volatile, the fuel abundant, a lightning bolt may become an agent of change. Heat becomes light, light becomes heat, heat becomes flame, flame unravels the molecules of a standing forest. A forest becomes a forest-on-fire.“

Zitat von Mollie Matteson (Matteson 2006, S. 9)

Dank

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich während meines Studiums, vor allem aber während der Zeit der Masterarbeit tatkräftig unterstützt haben.

Frau Dr. Britta Allgöwer und Herrn Prof. Dr. Robert Weibel gebührt Dank für die Leitung und Durchsicht der Arbeit. Bei Fragen konnte ich mich jeder Zeit an sie wenden. Weiter gebührt Ronald Schmidt Dank. Bei ihm durfte ich immer Rat bei Problemen mit ArcGIS holen. Danke auch an Dr. Ross Purves, Dr. Martin Tomko sowie Pia Bereuter vom Geographischen Institut der Universität Zürich, die mir in Abwesenheit meiner Betreuer immer hilfreiche Tipps geben konnten.

Diese Arbeit wäre ohne die Unterstützung des Schweizerischen Nationalpark (SNP) nicht möglich gewesen. Danke an Ruedi Haller und Stefan Imfeld für die Möglichkeit diese Arbeit über das Gebiet des SNPs machen zu können und das zur Verfügung stellen der dafür benötigten Daten.

Weiter möchte ich der Firma Siemens AG, vor allem Herrn Rolf Fritsi, für die kooperative Unterstützung durch die zur Verfügung gestellte Blitzstatistik über das Gebiet des SNPs danken. Dies ermöglichte mir die Eintrittswahrscheinlichkeit eines natürlichen Waldbrandes besser zu modellieren.

Während meiner Arbeit habe ich Interviews durchgeführt. Herzlichen Dank gebührt den Experten, die sich viel Zeit genommen haben um mir Rede und Antwort zu stehen.

Grossen Dank möchte ich ebenfalls all meinen Freunden, Bekannten und Verwandten aussprechen, die mich während dieser Zeit unterstützten und mich immer wieder motivierten. Dies sind vor allem Petra Flepp, Erika Heuberger, Madeleine Naef, Manola Blatter und Sara Wälty, die auch meine Arbeit durchgelesen haben, sowie Carine Marro, Petra Breitenmoser und Johanna Scheidegger, die die englische Übersetzung der Zusammenfassung verfasst und überarbeitet haben. Doch den grössten Dank möchte ich meinem Vater Theo Bosshard und meinem Freund Michael Naef widmen. Sie unterstützten und motivierten mich während dieser Zeit, lasen diese Arbeit akribisch durch und ermöglichten es mir meine Arbeit in dieser Form zu erbringen.

Zusammenfassung

Windschlag, Murgänge und andere natürliche Vorgänge im Naturhaushalt gehören zur Dynamik des Ökosystems. Im Schweizerischen Nationalpark sind diese Prozesse gesetzlich geschützt, in dem menschliche Eingriffe ins Ökosystem nur erlaubt sind, sofern sie der unmittelbaren Erhaltung des Parks dienen. Waldbrände werden jedoch bis heute gelöscht, da das Waldbrandverhalten sowie die Folgen eines Feuers über die Parkgrenzen hinaus bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht genügend gut abgeschätzt werden können.

Die hier erarbeitete Risikoanalyse soll ein Teil eines umfassenden Waldbrandmanagements werden, welches ökologische und ökonomische Aspekte vereint. Die Erarbeitung eines solchen Waldbrandmanagement steht aber noch aus.

Risiko wird in dieser Arbeit als das Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit und der Auswirkungen eines Ereignis verstanden. Spezifisch setzt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit aus der Art der Waldgesellschaften sowie den räumlichen Blitzhäufigkeiten zusammen. Anhand der Blitzstatistik konnte aufgezeigt werden, dass im südlichen Gebiet des SNPs, vor allem aber entlang der Bergkanten häufiger Blitze einschlagen, als in nördlich tiefer gelegenen Gebieten.

Die Auswirkungen wurden anhand von Experteninterviews erforscht. Der Fokus der Interviews wurde auf die räumliche Ausprägung der Auswirkungen gelegt, so dass die Resultate in Karten festgehalten und weiter verarbeitet werden konnten. Grosse Unsicherheiten bezüglich der Auswirkungen – seien diese positiv oder negativ – sind vorhanden und zeigen auf, dass Forschungsbedarf in diesem Bereich besteht. Obwohl weltweit bereits viele Untersuchungen über die Folgen eines Waldbrandes durchgeführt wurden, sind in der Schweiz, vor allem im Schweizerischen Nationalpark, diesbezüglich wenig Daten vorhanden. Aussagen über konkrete Auswirkungen, vor allem positive, konnten kaum gemacht werden.

Das fehlende Wissen in diesem Bereich wirkt sich auf die praktische Relevanz der hier ausgearbeiteten Risikoanalyse aus. Bei den Interviews aber zeigte sich das Interesse und wachsende Bewusstsein um den Forschungsbereich ‚Waldbrand‘ im SNP. Zukünftige Untersuchungen könnten vermehrt ihren Fokus auf die Auswirkungen eines Feuers legen oder mögliche Folgen des Klimawandels miteinbeziehen.

Um die Unterschiede zwischen anthropogen und natürlich verursachten Waldbränden aufzuzeigen, wurde in dieser Arbeit zudem die Eintrittswahrscheinlichkeit menschlich verursachter Feuer modelliert. Für anthropogene Brände werden entlang von öffentlichen Wegen und Plätzen hohe Eintrittswahrscheinlichkeiten aufgezeigt. Je weiter davon entfernt, nimmt die Wahrscheinlichkeit ab. Natürliche Waldbrände hingegen werden vermehrt an exponierten Stellen prognostiziert, da dort häufiger Blitze einschlagen als in weniger exponierten Gebieten.

Diese Arbeit zeigt eine Möglichkeit der Erstellung einer Waldbrandrisikokarte auf, diskutiert die während der Arbeit entstandenen Schwierigkeiten und weist auf mögliche Folgestudien hin. Somit konnte ein Grundstein für zukünftige Forschung in diesem Bereich gelegt werden.

Summary

Windfall, mud-flows, and other elemental incidents of the natural balance contribute to the dynamics of the ecosystem. In the Swiss National Park (SNP), law protects these processes. Human intervention into the ecosystem is only allowed in order to preserve the park. However, forest fires have always been extinguished in the past, since forest fire characteristics as well as the consequences of a fire outside the borders of the park could not be accurately predicted. The following risk analysis will become part of an extensive forest fire management plan, incorporating ecological and economical aspects. However, such a forest fire management plan is still missing.

In this paper, risk is defined as the product of probability of occurrence and impact of occurrence. More specifically, the probability of occurrence depends on the type of forest as well as the regional lightning frequency. The lightning statistics clearly reveal that lightning strikes are more frequent in the southern area of the SNP and along the ridges of the mountains. In contrary, northern and lower regions are less affected.

The impacts have been investigated by expert interviews. These interviews focus on spatial characteristics of the impacts, in order to map and further process the results. Large uncertainties about the impacts remain – whether positive or negative – which show that there is need for further research in this area. Despite the fact that many studies analysed the impact of a forest fire, there is little data available in Switzerland, most notably the Swiss National Park. No definite statements on impacts could be made in this study.

The missing knowledge in this area of research affects the practical relevance of this risk analysis. There is, however, considerable interest and increasing awareness concerning the research area of ‚forest fire‘ in the SNP. Future investigations might put an increased focus on the impacts of a fire or incorporate possible consequences of climate change.

In order to show the difference between anthropogenic and naturally induced forest fires, the probability of occurrence of man-made fires has been reproduced in this study. For anthropogenic fires, high probability of occurrence can be shown along public tracks and places. The further away from these places, the lower the probability. Natural forest fires are indeed more common on exposed places since lightning strikes are more frequent there than on less exposed areas.

This paper illustrates one possibility of creating a forest fire risk map, discusses problems that have arisen, and suggests possible subsequent studies. Hence, a basis for future research in this area has been established.

Inhaltsverzeichnis

Danke	iii
Zusammenfassung	v
Summary	vii
Typographische Konventionen	1
I Einführung und Motivation	3
1 Einleitung	5
1.1 Allgemeiner Rahmen der Arbeit	5
1.2 Problemstellung	6
1.3 Ziel der Arbeit	7
1.4 Fragestellungen	7
II Grundlagen	9
2 Waldbrandtheorie	11
2.1 Entstehung eines Feuers	12
2.2 Feuertypen	12
2.3 Feuerintensität (Fire Intensity)	13
2.3.1 Intensität an der Feuerfront (Fireline Intensity)	14
2.4 Durch Blitze verursachte Feuer	15
2.4.1 Entstehung von Blitzen	15
2.4.2 Zusammenhänge zwischen Blitzen und Waldbränden	16
3 Einführung in die Sicherheitswissenschaft	19
3.1 Was ist Risiko?	19
3.2 Bereiche der Sicherheitswissenschaft	20
4 Stand der Forschung	23
4.1 Allgemeine Literatur zu Waldbränden	23
4.1.1 Flora	23
4.1.2 Boden	25

4.1.3	Fauna	26
4.1.4	Infrastruktur	28
4.2	Zusammenfassung relevanter Untersuchungen im SNP	29
4.2.1	Waldbrände im SNP während des Holozäns	29
4.2.2	Diplomarbeiten und Dissertationen	29
4.2.3	Relevante Ergebnisse für diese Arbeit	33
III Material und Methodik		35
5	Untersuchungsgebiet und Datenumgebung	37
5.1	Der Schweizerische Nationalpark	37
5.2	Verwendete Daten	41
5.2.1	HabitAlp und Daten des GIS-Servers des SNPs	41
5.2.2	Blitzstatistik von Siemens AG	41
6	Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes	43
6.1	Natürlich verursachte Waldbrände	43
6.1.1	Waldgesellschaften	43
6.1.2	Blitzeinschläge	45
6.1.3	Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit	47
6.2	Anthropogene Waldbrände	47
6.2.1	Modellierung exponentiell abnehmende Distanzwerte	47
6.2.2	Anwendung der Distanzberechnungen	48
6.2.3	Teilgebiete	50
6.2.4	Exposition	52
6.2.5	Waldgesellschaften	53
6.2.6	Gewichtung der Layer	54
6.2.7	Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit	55
7	Experteninterviews	57
7.1	Was sind Experteninterviews?	57
7.2	Schwierigkeiten bei Experteninterviews	57
7.3	Ziele der Experteninterviews	58
IV Resultate		61
8	Eintrittswahrscheinlichkeit	63
8.1	Darstellungsmöglichkeiten der Resultate	63
8.2	Natürlich verursachte Waldbrände	64
8.3	Anthropogene Waldbrände	66
9	Resultate der Experteninterviews	69
9.1	Auswirkungen auf die Flora	69
9.2	Auswirkungen auf die Fauna	71

9.3	Auswirkungen auf Boden	74
9.4	Auswirkungen auf die Infrastruktur	75
9.5	Zusätzliche Fragen	76
9.6	Gesamtübersicht der möglichen Auswirkungen	77
10	Risikoanalyse	81
V	Diskussion und Schlussfolgerungen	87
11	Diskussion	89
11.1	Eintrittswahrscheinlichkeit	89
11.1.1	Natürlich verursachte Waldbrände	89
11.1.2	Anthropogene Waldbrände	90
11.1.3	Vergleich der Eintrittswahrscheinlichkeiten	92
11.2	Auswirkungen	92
11.3	Risikoanalyse	93
12	Schlussfolgerungen und Ausblick	95
12.1	Schlussfolgerungen	95
12.1.1	Die wichtigsten Erkenntnisse	95
12.1.2	Limiten und offene Probleme	96
12.2	Ausblick	97
12.2.1	Zeitkomponente	97
12.2.2	Klimawandel und Waldbrand	99
VI	Anhang	107
A	Experteninterviews	109
B	Studienresutalte von Rahel Langhart	119
B.1	Natürlich verursachte Waldbrände	120
B.2	Menschlich verursachte Waldbrände	121
C	Studienresutalte von Manuel Ott	123
C.1	Wegfrequentierung	123
C.2	Übersichtskarte der Wegabschnitte	125
D	Verwendete Daten	127
D.1	Dokumentationsliste der Daten auf der DVD	127

Abbildungsverzeichnis

2.1	Ablauf einer Störung	11
2.2	Feuerdreieck	12
2.3	Feuertypen	13
2.4	Zusammenhang zwischen Gewitter und Waldbränden	17
3.1	Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft	20
3.2	Risikoanalyse	21
5.1	Übersicht über den SNP.	38
5.2	Blick in den SNP	39
6.1	Vorkommen der Waldgesellschaften	44
6.2	Resultat der Berechnungen der Kerndichte mit unterschiedlichen Suchradien.	46
6.3	Berechnungsschritte im Raster Calculator für die Modellierung exponentieller Distanzwerte am Beispiel von 100m.	48
6.4	Modellierung der Distanzberechnungen bei Wanderwegen, Rastplätzen, Lichtungen und Informationstafeln mit unterschiedlichen Darstellungsarten der Werteskala	49
6.5	Frequentierung der Wege in Prozent pro Teilgebiet	52
6.6	Berechnung der Exposition	53
8.1	Fenster in ARCGIS, wo die Darstellungsmöglichkeit der Datenwerte verändert werden kann.	64
8.2	Beispiele der Datenhistogramme mit der Möglichkeit der Datenstreckung.	64
8.3	Resultat der Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit natürlich verursachter Waldbrände	65
8.4	Resultate der Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände (gewichtet).	67
8.5	Resultate der Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände (ungewichtet).	68
9.1	Vorkommen von seltenen Flechtenarten.	71
9.2	Entdeckung einer neuen Ameisenart?	72
9.3	Habitat des Auerhuhns.	74
9.4	Schutzwälder für Strassen und Unterkünfte.	76
9.5	Resultat der möglichen Auswirkungen eines Waldbrandes im SNP (unklassiert).	79
9.6	Resultat der möglichen Auswirkungen eines Waldbrandes im SNP (klassiert).	79

10.1	Histogramm der Datenwerte aus der Risikoanalyse	81
10.2	Resultat der Berechnung der Risikoanalyse, dargestellt mit kontinuierlichen Daten.	83
10.3	Resultat der Berechnung des Risikos, reklassifiziert anhand gleicher Intervalle auf 5 Stufen.	84
10.4	Resultat der Berechnung des Risikos, reklassifiziert anhand gleicher Intervalle auf 3 Stufen.	85
11.1	Beispiel einer möglichen AHP-Auswertung	91
12.1	Blitzhäufigkeit nach Stärke und Datum	98
12.2	Blitzhäufigkeit im Tagesdurchschnitt	98
12.3	Sommertemperaturen im Klimawandel	99

Tabellenverzeichnis

2.1	Beispiel von verschiedenen Feuerintensitäten	15
5.1	Auszug aus der Blitzstatistik der Siemens AG.	42
6.1	Einteilung der Waldgesellschaften in die verschiedenen Stufen der Eintrittswahrscheinlichkeit	45
6.2	Einteilung der Teilgebiete in die verschiedenen Stufen der Eintrittswahrscheinlichkeit	52
6.3	Aufzeigen der Gewichtung der einzelnen Layer für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände	55
6.4	Übersicht der Faktoren für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers	56
A.1	Experten, mit denen ein Interview durchgeführt werden durfte.	110

Typographische Konventionen

Zur Erleichterung der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit folgende typographische Konventionen verwendet:

<i>Kursive Schrift</i>	Mathematische Ausdrücke sowie Zitate
<i>Geneigte Schrift</i>	Lateinische Bezeichnungen
Maschinenschrift	Befehle und Computeraktionen
KAPITÄLCHEN	Programme und Softwarebezeichnungen
Serifenlose Schrift	Fachausdrücke oder Englische Ausdrücke

Teil I

Einführung und Motivation

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Allgemeiner Rahmen der Arbeit

Schlagzeilen über verheerende Waldbrände oder Buschfeuer sind aus den Medien sehr gut bekannt. Beispiele hierfür sind die Zeitungsberichte über die australischen Waldbrände zu Beginn dieses Jahres. Bis Mitte Februar 2009 kämpfte Australien gegen ca. 400 Feuer, welche über 200 Todesopfer forderten. Als ‚Schwarzer Samstag‘ ging der 7. Februar 2009 in die australische Geschichte ein. Heisser und trockener Wind sowie rekordverdächtig hohe Sommertemperaturen brachten überraschend einen tödlichen Feuersturm. Zudem wurden alleine an diesem Tag über 2'000 Häuser und Geschäfte zerstört (Grubel 2009). Auch die Schweiz kennt das Problem ‚Waldbrand‘. Am 13. August 2003 standen 300 ha Wald nach Brandstiftung oberhalb von Leuk (VS) in Flammen. Nicht nur das Nutzholz fiel dem Feuer zum Opfer, daraus resultierten auch neue Schwierigkeiten wie Steinschlag, Erosion und Lawinen, welche bewältigt werden mussten (Wohlgemuth et al. 2005, S. 345). Zwischen 1980 und 1997 ereigneten sich im Kanton Graubünden 224 Waldbrände, welche registriert und in eine Datenbank integriert wurden (Langhart 1999, S. 35). Allein innerhalb der drei Jahre von 1996 bis 1998 fanden vier Grosswaldbrände¹ statt. Ca. 60% Waldbrände können auf unvorsichtigen Umgang mit offenem Feuer zurückgeführt werden. Die meisten Brände ereignen sich an schönen Sonn- und Feiertagen. Nur 20% der Waldbrände werden durch Blitze ausgelöst (Maissen & Weidmann 1999, S. 2-4).

Meist werden Waldbrände als Gefahr und Bedrohung angesehen. Anthropogene Feuer spielten jedoch beim Übergang von der Natur- zur Kulturlandschaft eine sehr wichtige Rolle in der Schweiz. Das Feuer war in dieser Zeit wahrscheinlich das wichtigste Rodungswerkzeug der Menschen (Moretti, Conedera & Duelli 2001, S. 1). Stark geöffnete Wälder und an Feuer angepasste Arten in diesen bewirtschafteten Gebieten waren die Folgen (Tinner 2005, S. 1).

Bis kurz vor der Parkgründung 1914 wurden die Wälder im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks (SNP) intensiv genutzt (Bur 2006). Doch durch die sich ändernden ökonomischen und demographischen Verhältnisse werden heute Gebirgswälder vermehrt sich selbst überlassen. Dabei sammelt sich viel Brandgut an. Dies ist in den Wäldern des SNPs

¹Unter Grosswaldbränden werden Waldbrände verstanden, bei denen Bäume so beschädigt werden, dass sie kaum eine Überlebenschance haben (Maissen & Weidmann 1999, S. 2).

sehr gut sichtbar (Allgöwer 2007, S. 1–2).

Knapp 100 Jahre strikter Naturschutz und ausbleibende Nutzung haben in den Borealen Waldtypen des SNPs eine Brandgutsituation entstehen lassen, bei welcher natürliche Feuerzyklen wieder eine Rolle spielen könnten (Allgöwer 2007, S. 2). Wie soll aber mit Naturereignissen wie Waldbränden umgegangen werden? Welche Auswirkungen hätte ein Waldbrand? Wie würden sich positive und negative Folgen aufwiegen? Diese Fragen und noch viele mehr beschäftigen nicht nur die Mitarbeiter des SNPs.

Seit anfangs der 1990er Jahre wurden das Thema Waldbrand und mögliche Massnahmen im SNP diskutiert und Studien diesbezüglich bearbeitet. Doch bis anhin fehlt ein gesamtheitliches Feuermanagement-Konzept, an das man sich bei einem Eintrittsfall eines Feuers halten kann. Die Abschätzung des Risikos ist ein wichtiger Bestandteil eines solchen Konzepts. Diese Arbeit soll eine mögliche Risikoanalyse aufzeigen.

1.2 Problemstellung

„Der Schweizerische Nationalpark im Engadin und Münstertal im Kanton Graubünden ist ein Reservat, in dem die Natur vor allen menschlichen Eingriffen geschützt und namentlich die gesamte Tier- und Pflanzenwelt ihrer natürlichen Entwicklung überlassen wird. Es sind nur Eingriffe gestattet, die unmittelbar der Erhaltung des Parks dienen.

Der Nationalpark ist der Allgemeinheit zugänglich, soweit es die Parkordnung zulässt. Er soll Gegenstand dauernder wissenschaftlicher Forschung sein.“

Dieser Artikel stammt aus dem Bundesgesetz über den Schweizerischen Nationalpark im Kanton Graubünden vom 19. Dezember 1980, Artikel 1, ‚Wesen und Zweck des Schweizerischen Nationalparks‘ (Nationalparkgesetz 1980, Seite 1). Das Nationalparkgesetz, wie das spezielle Bundesgesetz auch genannt wird, soll sicherstellen, dass die Natur im SNP ihrem freien Lauf überlassen wird. Doch es gibt in der Praxis eine grosse Ausnahme: Waldbrände, seien diese anthropogen oder natürlich verursacht, werden bis auf weiteres gelöscht, da der Verlauf und die Konsequenzen eines Brandes bis heute nicht zuverlässig genug abgeschätzt werden können.

Im Jahr 2000 hat der SNP in Zusammenarbeit mit der Universität Zürich und der Feuerpolizei Graubünden ein Merkblatt zum Thema Waldbrand und SNP herausgegeben. Darin werden die Gäste und die Einwohner dieses Gebietes aufgefordert einen gesichteten Waldbrand im SNP sofort der Feuerwehr zu melden. Die Herausgeber dieses Merkblattes begründen dieses Vorgehen durch die Einbettung des Nationalparks in die bewohnte und bewirtschaftete Kulturlandschaft des Unterengadins und des Münstertals. Bei einem Waldbrand könnten diese Gebiete gefährdet werden, da Feuer sich nicht an politische, menschliche Grenzen halten; sie brennen dort wo sie genügend geeignetes Brennmaterial vorfinden und wo man ihnen keinen Einhalt gebietet (Schweizerischer Nationalpark SNP 2000).

Wie oben bereits erwähnt, wurde die Problematik ‚Waldbrand‘ bereits anfangs der 1990er Jahre aufgegriffen und diskutiert. Da aber bis zu diesem Zeitpunkt im SNP kaum Forschungen diesbezüglich durchgeführt wurden, wurde beschlossen dieses Forschungsfeld zu fördern, Feuer aber weiterhin zu löschen bis ein umfassendes Waldbrandmanagement ausgearbeitet ist. Bis heute entstanden mehrere Diplomarbeiten, Dissertationen sowie weitere

Projekte im SNP (siehe hierzu Kapitel 4.2). Die Erarbeitung eines umfassenden Waldbrandmanagements, welches ökologische und ökonomische Aspekte vereint, steht aber noch aus.

1.3 Ziel der Arbeit

Im Vordergrund dieser Arbeit steht die Erfassung des Risikos bei einem Waldbrand im Schweizerischen Nationalpark. Für die Erarbeitung der Risikoanalyse wird in dieser Arbeit auf die folgende Formel zurückgegriffen, welche im Kapitel 3.1 noch näher erläutert wird:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Auswirkungen}$$

Die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit soll aufgrund vergangener Ereignisse, Exposition, Hangneigung, verfügbare Brennmaterialien etc. abgeschätzt werden. Die objektive Beurteilung der Auswirkungen gestaltet sich wesentlich schwieriger, sind doch unterschiedlichste Aspekte zu berücksichtigen und zu gewichten. Während wiederkehrende Waldbrände zur Verjüngung eines Waldes beitragen und die Gefahr eines Grossereignisses senken, kann eine abgebrannte Waldfläche den Tourismus beeinträchtigen. Wichtige Lebensräume von Flora und Fauna können zerstört, aber auch neu erschaffen werden. Die Schwierigkeit liegt darin, die Auswirkungen wissenschaftlich so zu erfassen, dass eine objektive Beurteilung vorgenommen werden kann.

1.4 Fragestellungen

Weltweit wurden bereits viele Untersuchungen betreffend der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sowie dessen Auswirkungen durchgeführt und ausgewertet. Vor allem Länder wie die USA, Kanada oder Australien, in denen Waldbrände beinahe zum Alltag gehören, sind in diesem Forschungsbereich sehr aktiv. Obwohl zwischen einigen Untersuchungsgebieten dieser Länder Parallelen zum Gebiet des SNPs gezogen werden können, stellt sich die Frage, wie das Risiko eines Waldbrandes in diesem kleinen Gebiet der Schweiz aussieht. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit versucht folgende Fragen zu beantworten:

- Wie kann die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes im SNP berechnet werden? (Kapitel 6)
- Wie wirkt sich ein Waldbrand auf Flora, Fauna, den Boden sowie die Infrastruktur aus? (Kapitel 4 und 9)
- Wie bewertet man die Auswirkungen? (Kapitel 7 und 9)
- Wie können diese vor einem Waldbrandereignis erfasst werden? (Kapitel 7)
- Wie sollen die Auswirkungen eines Waldbrandes auf Flora, Fauna, Boden und Infrastruktur gewichtet werden? (Kapitel 9.6)

- Welche Risiken ergeben sich daraus bei einem Waldbrand im SNP? (Kapitel 10)
- Wie ändert sich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Waldbrandes bei unterschiedlichen Gewichtungen? (Kapitel 8.3)

Teil II

Grundlagen

Kapitel 2

Einführung in die Waldbrandtheorie

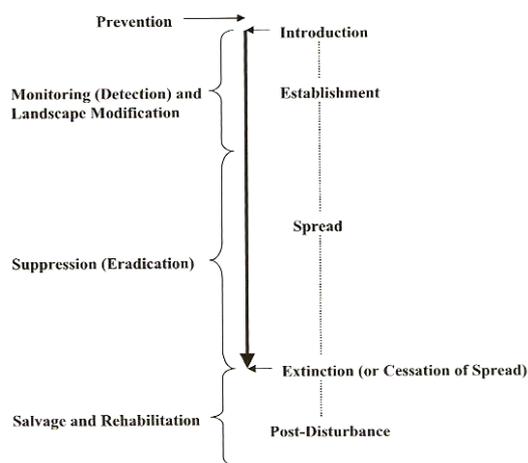


Abbildung 2.1: Ablauf einer Störung.
Quelle: Prestemon et al. (2008, S. 42)

Waldbrände sind für das Ökosystem Störungen¹ (Disturbance) oder neutraler ausgedrückt Ereignisse, welche meistens nach dem gleichen Prinzip ablaufen. Der Prozess eines Ereignisses kann in vier Hauptphasen unterteilt werden: Anfang (Introduction), Etablierung (Establishment), Ausbreitung (Spread) und Auswirkung (Post-Disturbance). Zwischen den letzten zwei Punkten findet das Ereignis ein Ende (Extinction). Die Menschen haben die Möglichkeit in diesen Prozess einzugreifen und den Vorgang frühzeitig zu beenden (Prestemon et al. 2008, S. 42). Der Anfang bezeichnet den Ort und den Beginn eines Ereignisses. Dies kann z.B. das Auslösen eines Waldbrandes sein, oder das Auftreten einer exotischen Plage an einem bestimmten Ort. Wird dieses Ereignis nicht gebannt, kann es weiter fortschreiten. Bei einem Feuer ist der Punkt der ‚Etablierung‘ erreicht, wenn sich die Zündung so weit entwickeln konnte, dass das entstandene Feuer stark genug ist, um sich weiter auszubreiten. Dabei spielen Faktoren wie das verfügbare Brennmaterial, dessen Beschaffenheit, das Wetter etc. wichtige Rollen. Sind diese Parameter nicht vorhanden oder ihr Zustand nicht feuerfördernd, kann sich der Brand nicht weiter ausbreiten und das Ereignis ist beendet. Im anderen Fall schreitet das Ereignis weiter voran und verändert dadurch die Umgebung massgebend. Mit der Zeit lässt es nach und verschwindet ganz. Meist sieht die Landschaft nach einem Ereignis anders aus als zuvor. Nun beginnt die Phase danach. Je nach Intensität und Art des Ereignisses sind die Auswirkungen auf die Landschaft unterschiedlich (Prestemon et al. 2008, S. 42–45).

¹Eine Störung (Disturbance), ist ein anthropogener oder natürlicher Eingriff in das Ökosystem, oft in Gestalt eines seltenen Ereignisses, das der Entwicklung des Ökosystemverhaltens eine andere Richtung verleiht. Quelle: (Leser, Haas, Mosimann, Paesler & Huber-Fröhli 2001, S. 836)

2.1 Entstehung eines Feuers

Jedes Feuer ist ein chemischer Prozess, welcher die drei Elemente Brennmaterial, Hitze und Sauerstoff beinhaltet. Diese drei Elemente müssen in einer bestimmten Kombination auftreten, damit ein Brand entstehen kann.

In vegetationsbedeckten Flächen sind zwei (Brennmaterial und Sauerstoff) dieser drei Elemente immer vorhanden. Um das Feuerdreieck, wie die Kombination dieser Elemente auch genannt wird, zu vervollständigen, wird Hitze benötigt (Heikkil, Grnoqvist & Jurvelius 2007, S. 82).

Die benötigte Hitze ist wiederum abhängig vom entzündbaren Material. Dabei muss nach der Art des Materials, aber auch nach seiner Feuchtigkeit unterschieden werden. Die Entzündungstemperatur liegt durchschnittlich zwischen 220 und 250 °C (Heikkil et al. 2007, S. 84–85).

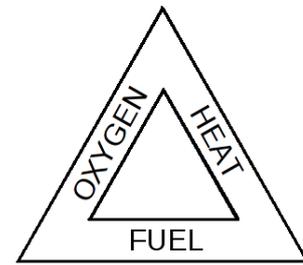


Abbildung 2.2: Feuerdreieck. Quelle: (Pyne et al. 1996, S. 7)

Ablauf eines Feuers

Der Ablauf eines Brandes kann in drei Phasen gegliedert werden:

- Aufheizungsphase
In dieser Phase wird das Brennmaterial getrocknet und bis auf die Entzündungstemperatur erhitzt, aber es existiert noch keine Flamme.
- Gasphase
Das erhitzte Material zerfällt in die zwei Komponenten Gas und Kohle. Das Gas entzündet sich und eine Flamme oberhalb des Brenngutes wird ersichtlich, das Brennmaterial glüht noch nicht.
- Kohlephase
In dieser Phase beginnt das Material zu glühen und wird dadurch verbraucht. Am Schluss bleibt Asche übrig. Bläst in dieser Phase eines Waldfeuers Wind, welcher glühende Kohle davon trägt oder rollt ein brennendes Stück Holz einen Hang hinunter, können weitere Feuer an anderen Orten, sogenannte Punktfeuer, entstehen (Heikkil et al. 2007, S. 85–86).

2.2 Feuertypen

Wald- und Buschbrände oder *wildfire* und *wildland fire*, wie die englischen Ausdrücke heissen, weisen unendlich viele Ausprägungen auf. Diese werden nach Feuertypen klassiert, welche nach den brennenden Vegetationsschichten benannt wurden. Die Übergänge zwischen diesen Grundtypen sind fließend und können auch parallel auftreten (Pyne et al. 1996, S. 46).

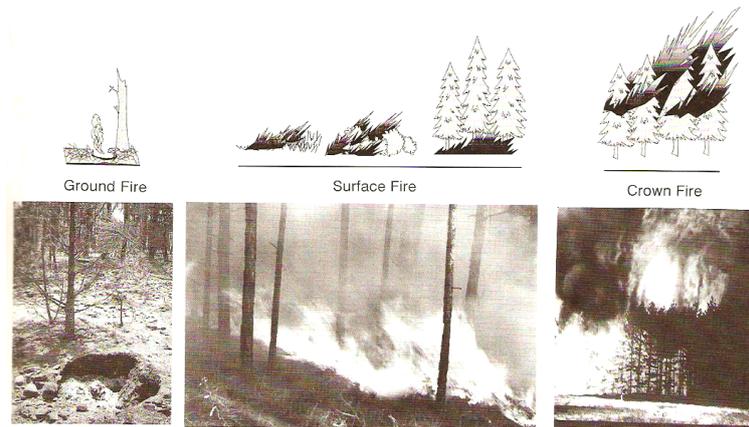


Abbildung 2.3: Die drei häufigsten Feuertypen. Quelle: (Pyne et al. 1996, S. 46)

Erd- und Stockfeuer (Ground Fire)

Heimtückisch sind vor allem Feuer, die sich unterirdisch als Schwelbrände ausbreiten, sogenannte Erd- oder Stockfeuer. Diese können noch nach Tagen an der Oberfläche wieder ein Feuer entfachen, nachdem der Waldbrand längst bekämpft und für gelöscht gehalten wurde (Pyne et al. 1996, S. 47).

Lauffeuer (Surface Fire)

Die Flammen fressen sich am Boden oder wenig oberhalb entlang. Gräser, Sträucher, herumliegende Äste sowie Tannennadeln und trockene Blätter liefern diesem Feuer die Nahrung (Pyne et al. 1996, S. 46).

Kronenfeuer (Crown Fire)

Wie der Name schon sagt, sind bei dieser Feuerart vor allem die Baumkronen betroffen. Meistens werden sie durch Lauffeuer entfacht (Pyne et al. 1996, S. 46–47). Kronenfeuer sind schwierig zu bekämpfen, da sie sich rasch ausbreiten und meistens eine hohe Feuerintensität aufweisen, was sie sehr gefährlich macht. Zur Bekämpfung werden oft indirekte Erstickungsmethoden angewendet (Kennard 2008, <http://www.forestencyclopedia.net/p/p481>. Zugriff: 6. Oktober 2008).

2.3 Feuerintensität (Fire Intensity)

Die Feuerintensität ist bei der Berechnung von zukünftigen Feuern sehr wichtig, da sie die Rauch- und Flammenhöhe während eines Brandes direkt beeinflusst und die Auswirkungen auf den Naturhaushalt aufzeigt. Dazu kommt, dass die Feuerintensität bei der Bekämpfung des Brandes eine wichtige Rolle spielt (Kennard 2008, <http://www.forestencyclopedia.net/p/p486>, Zugriff: 6. Oktober 2008).

Die Feuerintensität wird anhand der Ausbreitungsgeschwindigkeit berechnet. Dabei stehen die beiden Größen Strahlung und Ausbreitungsrate der Hitze im Zentrum. Die Feuer-

intensität ist direkt proportional zur Verbrennungswärme, Brennmaterialverbrauch und Ausbreitungsrate des Feuers. Dabei wird die Ausbreitungsrate durch Komponenten wie verfügbares Brennmaterial, Wetterverhältnisse und Topographie beeinflusst. Das Brennmaterial ist wiederum indirekt verknüpft mit der Masse des Totmaterials, Feuchtigkeitsgehalt des brennbaren Materials, chemischen Bestandteilen, der Verteilung des Materials sowie seinem Vorkommen. Trotzdem sind verschiedene Definitionen in der Literatur auffindbar. Am häufigsten wird die Intensität an der Feuerfront (**Fireline intensity**) benutzt. So auch in dieser Arbeit (Kennard 2008, <http://www.forestencyclopedia.net/p/p486>. Zugriff: 6. Oktober 2008).

2.3.1 Intensität an der Feuerfront (**Fireline Intensity**)

Die Intensität an der Feuerfront ist auch bekannt unter Frontalfeuerintensität (**frontal fire intensity**). Dabei wird die Wärmestromenergie pro Zeiteinheit und Länge der Feuerfront berechnet, nicht aber die Tiefe der Flammenzone. Sie wird durch das Produkt der zur Verfügung stehenden Totmaterialien und den der Ausbreitungsgeschwindigkeit berechnet:

$$I = H \times w \times r$$

- I Intensität an der Feuerfront [kW/m]
- H Energiedichte des Brennmaterials [kJ/kg]
- w Gewicht des verbrauchten Brennmaterials pro Fläche in der aktiven Flammenzone [kg/m²]
- r Ausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]

Die Intensität an der Feuerfront kann zwischen 15 und 100'000 kW/m variieren. Die meisten Feuer weisen aber keine 50'000 kW/m auf. Kronenfeuer bewegen sich typischerweise zwischen 10'000 und 30'000 kW/m. Wird von wenig intensiven Oberflächenfeuern gesprochen, weist die Front weniger als 550 kW/m auf. Intensitäten von über 4'000 kW/m zählen bereits zur Kategorie der hohen Intensität. Dazwischen liegen die mittleren Intensitäten eines Waldbrandes (Kennard 2008, <http://www.forestencyclopedia.net/p/p487>. Zugriff 6. Oktober 2008).

Flammenlänge [m]	Intensität an der Feuerfront [kW/m]	Interpretation
< 1.2	< 350	Mit Unterstützung von gewöhnlichen Hilfsmitteln kann die Feuerfront oder die Feuerflanke unter Kontrolle gebracht und bewältigt werden.
1.2 – 2.4	350 – 1750	Das Feuer ist bereits sehr intensiv. Das direkte Löschen an der Feuerfront mit gewohnten manuellen Löschutensilien ist kaum mehr möglich. Hilfsmittel wie Bulldozer, Löschfahrzeuge und feuerfeste Fluggeräte können effektiv sein.
2.4 – 3.3	1750 – 3500	Ein solches Feuer noch unter Kontrolle zu bringen ist schwierig, evtl. können Brennschneisen helfen. Versuche an der Front das Feuer unter Kontrolle zu bringen sind mehrheitlich ineffektiv.
3.3 <	3500 <	Kronen- und Flugfeuer ^a dominieren. Schnelle Ausbreitung des Hauptfeuers möglich. Kontrolle der Feuerfront nicht möglich.

Tabelle 2.1: Beispiel von verschiedenen Feuerintensitäten (Werte wurden in metrische Einheiten umgewandelt). Quelle: National Wildfire Coordinating Group, NWCG (1992)

^aDer Begriff Flugfeuer bezeichnet brennende Gegenstände, die durch die Thermik und das feuer eigene Windfeld aufgewirbelt werden, an anderer Stelle niederfallen und damit zur Ausbreitung von Bränden beitragen. Distanzen von mehr als einem halben Kilometer können überwunden werden (Kennard 2008, <http://www.forestencyclopedia.net/p/p482/>. Zugriff: 17. März 2009).

2.4 Durch Blitze verursachte Feuer

2.4.1 Entstehung von Blitzen

Blitze entstehen in sogenannten Gewitterwolken (Cumulonimben), welche meist sehr massiv sind und eine Ambossform aufweisen, da sie bis an die Tropopause vorstossen. Die Wolken bestehen hauptsächlich aus Wassertropfen, in den oberen Regionen aus Eiskristallen. Die beweglichen Partikel in der Wolke kollidieren miteinander und brechen auseinander, was zu elektrostatischer Aufladung der Partikel führt. Leichtere Teilchen werden dabei mehrheitlich positiv, schwerere vermehrt negativ geladen. Aufgrund der Aufwinde in der Wolke und der Schwerkraft kommt es zu einer Trennung der unterschiedlich schweren und geladenen Teilchen. Dies führt zu einer positiven Ladung im oberen Teil der Wolke und zu einer negativen Ladung in der Wolkenbasis. Innerhalb der Wolke wird so eine Spannung erzeugt. Die negative Ladung in der Basis sorgt dafür, dass sich die unter der Wolke liegende Erdoberfläche positiv auflädt. Dies führt zu einer sogenannten Influenzladung. Dadurch entsteht nicht nur eine Ladungsdifferenz in der Wolke oder zwischen Wolken, sondern auch zwischen einer Wolke und der Erde. Blitze sorgen in solchen Fällen für Ladungsausgleich (Pfahl 2007, S. 5).

Luft ist ein guter Isolator. Nur bei genügend hoher Spannung zwischen den zwei Polaritäten kommt es zu einem Ladungsausgleich. Ist das Durchschlagspotenzial der Luft

(ca. 30'000 V/cm) erreicht oder überschritten, beginnt der Blitzvorgang (DWD Deutscher Wetterdienst 2007, S. 3). Ein Erdblitz² beginnt normalerweise mit einem Vor- oder Leitblitz. Dies bezeichnet eine Ionisation der Luftmoleküle, die sich, ausgehend von der Wolke, in mehreren Schritten in Richtung Erdboden ausbreitet. Der dabei entstehende leitfähige Kanal besitzt eine zackige, verästelte Struktur. Während diesem Vorgang beginnt oft eine zweite Ionisationswelle am Erdboden, wenn sich der Leitblitz diesem nähert. Bei einem Treffen dieser beiden Ionisationskanäle entsteht eine leitende Verbindung und der erste Hauptblitz zündet, begleitet von hellem Licht und Donner. Die negativ geladenen Elektronen fließen von der Wolke zur Erde. Weitere Hauptblitze folgen. Da sie den Kanal des Vorblitzes benutzen, sind sie viel schneller als der erste. Das menschliche Auge kann nur einen einzigen Blitz wahrnehmen, da dieser Prozess in wenigen Millisekunden abläuft (Pfahl 2007, S. 5).

Wenn sich Blitze ereignen, entladen sich enorme Spannungen und erzeugen dabei Temperaturen von bis über 90'000 °C. Dabei dehnt sich die Luft in sehr kurzer Zeit extrem aus. Diese Ausdehnung nehmen wir als Donner wahr (DWD Deutscher Wetterdienst 2007, S. 3).

Blitze, welche auf die Erde treffen, können in zwei Kategorien unterteilt werden, positive und negative. Dies ist abhängig vom Ursprung der Ionisierungsregion eines Gewitters. Negativ geladene Blitzeinschläge treten viel öfter auf als positive, dafür sind die positiv geladenen Blitzeinschläge meist intensiver und länger andauernd, was das Auslösen eines Feuers begünstigt. Negative Blitze entstehen durch Entladung zwischen dem Wolkenboden und der Erde. Wenn zwischen dem positiv geladenen Amboss und der Erde ein Ausgleich stattfindet, kommt es zu positiven Blitzen auf der Erde. Beide Blitze können Waldbrände verursachen (NOAA's National Weather Service Regional Office 2007, <http://www.crh.noaa.gov>, Zugriff: 17.02.2009).

2.4.2 Zusammenhänge zwischen Blitzen und Waldbränden

In der USA wurden viele Untersuchungen bezüglich den Zusammenhängen zwischen Blitzen und natürlich verursachten Feuern durchgeführt. Vor allem der Sommer 2000 war in der USA beinahe schon ein Rekordjahr bezüglich Blitzhäufigkeiten.

Eine Studie untersuchte über die Zeit von Mai bis September 2000 die Zusammenhänge zwischen Blitzen bei trockenen und nassen Gewittern mit natürlich verursachten Feuern im Westen der USA. Trockene Gewitter wurden definiert als Gewitter ohne gleichzeitigen Regen (weniger als 2,5 mm Regen pro Tag) (Rorig & Ferguson 2002, S. 786–787).

Dabei stellten die Autoren fest, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein instabiler Luftschichten, verbunden mit dem plötzlichen Fall des Taupunktes und trockenen Gewittern gibt. Während dieser Wettersituation war die Wahrscheinlichkeit für durch Blitze entstandene Feuer sehr hoch. Dabei spielte die Anzahl Blitze eine geringe Rolle. Diese Faktorenkombinationen des Wetters (durchschnittlicher Taupunkt bei 85 kPa und durchschnittliche Temperatur von 31.3 °C) zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen trockenen Gewittern und durch Blitze verursachten Bränden, wie

²Ein Erdblitz ist eine elektrische Entladung atmosphärischen Ursprungs zwischen Wolke und Erde, bestehend aus einem oder mehreren Teilblitzen (Aus der Technik-Redaktion 2003, S. 3).

die Abbildung 2.4 aufzeigt (Rorig & Ferguson 2002, S. 786–787).

Drei Jahre nach den Blitzuntersuchungen im Westen der USA fokussierten die gleichen Wissenschaftler ihren Blick auf den Osten. Auch hier wollten sie mit Hilfe ihrer Kollegen die Zusammenhänge zwischen Trockengewittern und Waldbränden erforschen. Für diese Studie definierten die Forscher Trockengewitter als Gewitter mit weniger als 25,4 mm Niederschlag pro Tag. Die früher nachgewiesenen Zusammenhänge zwischen trockenen Gewittern und durch Blitze ausgelösten Feuern konnten hier nicht signifikant nachgewiesen werden. Viel wichtiger als die Art des Gewitters für die Zündung eines natürlichen Feuers war das Vorhandensein von trockenen Brennmaterialien (Rorig, Ferguson, Werth & Goodrick 2005, S. 2).

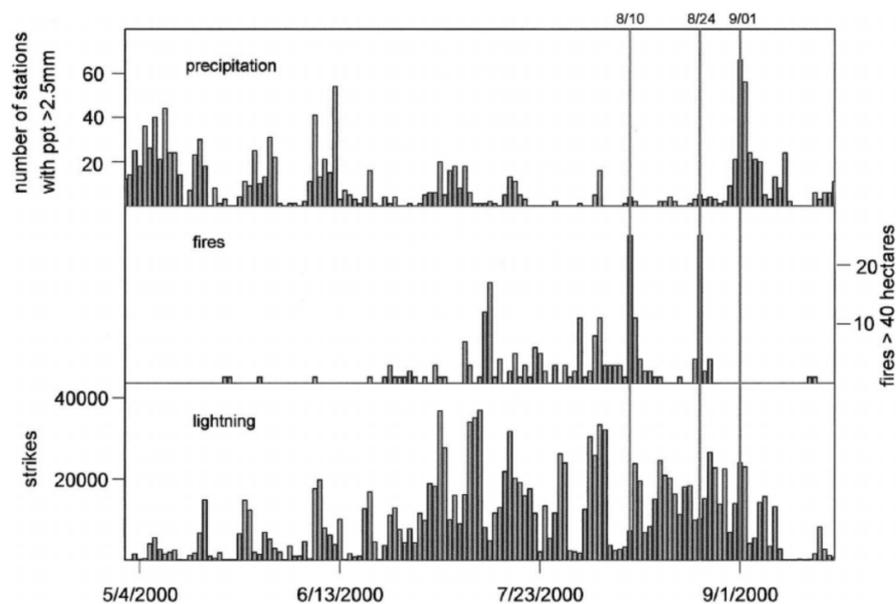


Abbildung 2.4: Zusammenhang zwischen Gewittern mit und ohne Regen und dadurch ausgelösten Bränden im Westen der USA. Quelle: (Rorig & Ferguson 2002)

Kapitel 3

Einführung in die Sicherheitswissenschaft

3.1 Was ist Risiko?

Wade, Raish & Kent (2008) haben eine Studie über die Wahrnehmung des Risikos bei Waldbränden durchgeführt. Dabei wurde klar ersichtlich, dass die Einschätzung von Risiken betreffend eines Feuers von persönlichen Erfahrungen der Befragten abhängt. Erfuhren die Studienteilnehmer die Gefahr eines Waldbrandes am eigenen Leibe, so schätzten sie das Risiko eines Feuers höher ein, als solche, die keine ähnlichen Erfahrungen gemacht hatten. Aus dieser Studie von Wade et al. (2008) ist gut ersichtlich, dass Risiken unterschiedlich bewertet werden und dadurch die Definition des Begriffs ‚Risiko‘ sehr schwierig und daher wichtig ist (Wade et al. 2008, S. 14–22).

Hollenstein von der ETH Zürich hat sich auch mit dieser Problematik auseinander gesetzt und den Begriff Risiko wie folgt definiert: „Qualitative oder quantitative Charakterisierung eines Schadens und der Tragweite der Schadenswirkungen.“ (Hollenstein 1997, S. 19). Diese Definition hat auch Andreas Bärtsch in seiner Diplomarbeit verwendet, in der er ein Konzept eines Waldbrandmanagements für das Gebiet des SNPs erarbeitete (Bärtsch 1998, S. 20).

Ähnlich hat diesen Begriff Bachmann in seiner Dissertation definiert, dabei darauf geachtet, dass die verwendete Definition nicht wertend ist: „The likelihood of specified undesired events occurring within a specified period or in specified circumstances arising from the realisation of a specified hazard.“ (Bachmann 2001, S. 48).

Für die Erstellung einer Risikoanalyse hat sich die Definition von Bachmann bewährt. In seiner Definition sind die zwei Elemente: Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignis sowie die möglichen Auswirkungen erkennbar. Daraus lässt sich die verwendete Formel in der Einführung (Kapitel 1.3) herleiten:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Auswirkungen}$$

Diese Definition gilt für diese Arbeit.

3.2 Bereiche der Sicherheitswissenschaft

Die Sicherheitswissenschaft kann in drei Teile gegliedert werden. Zum einen besteht sie aus der Risikoanalyse, welche den zweiten Teil, die Risikobewertung, direkt beeinflusst. Das dritte Glied bildet das Risikomanagement. Die Abbildung 3.1 zeigt die Beziehung dieser Teilbereiche zueinander auf.

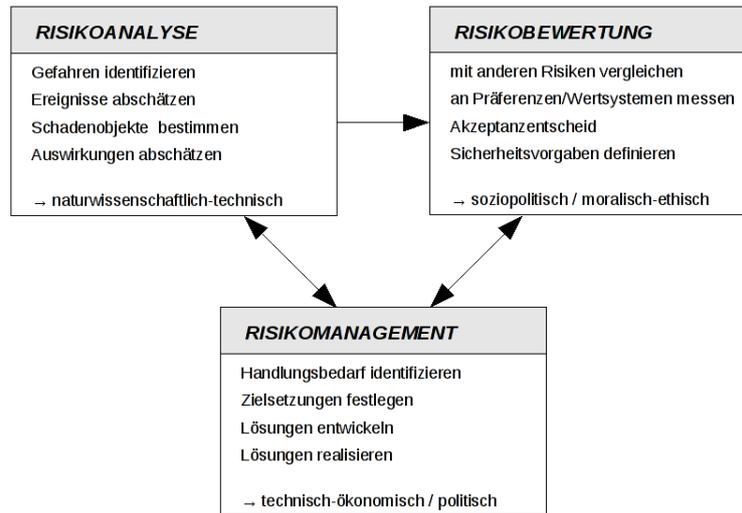


Abbildung 3.1: Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft. Quelle: Hollenstein (1997, S. 22)

Risikomanagement

Das Risikomanagement, allgemein betrachtet, regelt den Umgang mit Risiken. Risikomanagement ist das Bindeglied zwischen den Resultaten der Risikoanalyse und den Bewertungsvorgaben. Zudem bestimmt es die Zielsetzungen, daraus den Handlungsbedarf, die Strategien und die Massnahmen. Die Aufgabe ist es, die bestehenden Risiken auf ein akzeptiertes Mass zu bringen. Für diesen Zweck werden oftmals bestehende Risiken den akzeptierten Risiken gegenübergestellt. Besteht ein Gleichgewicht, muss theoretisch nichts am Sicherheitskonzept geändert werden. Oftmals aber sind in der Analyse Informationslücken vorhanden, die erst bei genauerer Betrachtung oder gar erst wenn ein Schadensereignis eingetreten ist, entdeckt werden. Dann wird meistens der Wunsch nach zusätzlicher Sicherheit ausgesprochen (Hollenstein 1997, S. 24–25).

Auch Sicherheitsüberschüsse können auftreten. Diese geben aber keinen Anlass für Handlungen im Rahmen des Risikomanagements. Die Möglichkeit die Risiken zu erhöhen und damit evtl. Kosten einzusparen, damit die Bilanz *bestehendes Risiko = akzeptiertes Risiko* besteht, wird oftmals in der Praxis vollzogen. Meist aber wird am Anfang ein Sicherheitsdefizit vorgefunden. Dabei müssen bestehende Risiken reduziert oder die Akzeptanz erhöht werden (Hollenstein 1997, S. 25–26).

Risikoanalyse

In der Risikoanalyse wird versucht, die erwarteten Schäden einzuschätzen. Sie liefert Informationen über das Ausmass sowie die Wahrscheinlichkeit der zu erwartenden Schäden. Das Resultat der Risikoanalyse sind Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses sowie über dessen Ausmass. Diese Verknüpfung erlaubt Rückschlüsse auf die Bedeutung einzelner Risiken unabhängig von Einzelereignissen (Hollenstein 1997, S. 21–22).

Für die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit der erkannten Ursachen (in dieser Arbeit für Waldbrände) können Begriffe wie „sehr gross“ „gross“ „mässig“ etc. verwendet werden. Dies erlaubt auch die Beurteilung von Dingen, die nicht finanziell bewertet werden können, wie zum Beispiel die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Naturereignisses. Das gleiche Vorgehen kann für die Bewertung der Auswirkungen genommen werden. Dabei werden Begriffe wie „unbedeutend“ oder „bedrohend“ für die Abschätzung der Tragweite verwendet, so dass die Auswirkungen auf Menschen oder die Natur in einer Skala festgehalten werden können (Zürich Versicherung 2007, S. 4).

Mit Hilfe einer Risikomatrix kann die Eintrittswahrscheinlichkeit mit den Auswirkungen in Verbindung gebracht werden:

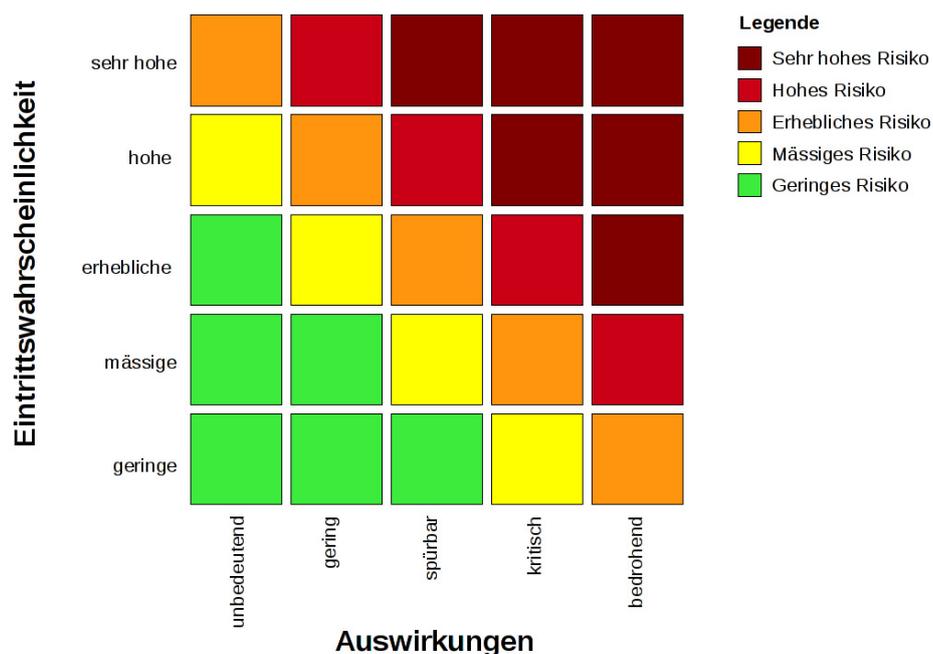


Abbildung 3.2: Risikoanalyse. Quelle: Abgeändert nach SQS, Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme (2006, S. 4)

Risikobewertung

Wie der Name verrät, handelt es sich hierbei um die Bewertung der Bedeutung von wahrgenommenen Risiken. Für die Wahrnehmung von Risiken sind Informationen dies-

bezüglich notwendig. Oftmals spielt es aber beim Publikum in der Praxis keine Rolle, woher die Informationen stammen. Auch werden die Informationen verarbeitet und gefiltert, bevor sie die Wahrnehmung beeinflussen. Aus diesem Grund nimmt jede Person Risiken anders wahr (Hollenstein 1997, S. 24). Bei der Erarbeitung der Risikobewertung werden daher oft verschiedene Akteure beigezogen, die sich ein individuelles Bild des Risikos sowie dessen Tolerierbarkeit machen. Die Summe all dieser Beurteilungen wird zusammengefasst und in Form von strategischen und operativen Sicherheitszielen wiedergegeben (in der Schweiz sind diese in Gesetzen und Normen festgehalten) (Hollenstein 1997, S. 24).

Kapitel 4

Stand der Forschung

Dieses Kapitel stellt einige Resultate von Untersuchungen zusammen, welche die Auswirkungen von Waldbränden auf verschiedene Teile des Ökosystems erforschten. Führend in diesem Bereich sind die USA und Kanada. Die von häufigen und starken Waldbränden betroffenen Länder ergriffen früh die Initiative, dieses Gebiet zu erforschen. Aber auch in der Schweiz, vor allem im südlichen Teil des Landes, wurden in den letzten Jahren die Auswirkungen eines Waldbrandes auf das Ökosystem in den Tessiner Kastanienwäldern und Bündner Wäldern studiert.

In der Schweiz treten vor allem Lauffeuer auf, bei denen die Feuerfront schnell voranschreitet. Dadurch können in den oberen Bodenschichten zwar kurzfristig sehr hohe Temperaturen entstehen, die aber oft nur wenige Zentimeter in den Boden eindringen. Lauffeuer können sich punktuell ausbreiten und so immer wieder unverbrannte Inseln auf der Brandfläche zurücklassen (Moretti et al. 2001, S. 1–2).

Die meisten Untersuchungen betreffend der Auswirkungen eines Waldbrandes auf Flora und Fauna unterscheiden nicht nach Feuerintensitäten. Dabei hängen die Auswirkungen eines Waldbrandes auf Boden, Luft, Wasser, Flora und Fauna von den unterschiedlichen Brandintensitäten ab. Lauffeuer sind oft weniger heiss und breiten sich weniger intensiv aus als Kronenfeuer. Bei intensiven Feuern können auch Stockfeuer entstehen. Die Erholung der Natur schreitet nach einem Kronenfeuer langsamer voran als nach einem Lauffeuer (Gorte 2006).

4.1 Allgemeine Literatur zu Waldbränden und deren Auswirkungen

4.1.1 Flora

Aus der Sicht der Pflanzen können Waldbrände sehr positive Effekte aufweisen. Sie können sogar notwendig für das Überleben von gewissen Arten sein. Viele Pflanzen entwickeln sich sehr rasch nach einem Feuer, da Feuer organisches Material als Nahrung zur Verfügung stellt. Vor allem Zitterpappeln und ausdauernde Gräser nützen die neue Umgebung für sich. Andere Pflanzen, wie z.B. einige Kiefernarten, sind auf Feuer angewiesen, da sich ihre Zapfen nur durch Feuer verursachte Hitze öffnen und die Samen verbreitet werden

können. Untersuchungen zeigten auf, dass ca. 92% der Pflanzen von Feuer profitieren (Gorte 2006).

An Feuer angepasste Pflanzenarten können oft hohe Feuerbelastungen überleben, welche sich durch häufige und intensive Brände ergeben. Hingegen können Pflanzenarten, die sich nach einem Feuer nur sehr langsam und mühsam erholen und fortpflanzen können, ausgerottet werden. Daher muss bei der Betrachtung der Auswirkungen von Feuer immer auch das Feuerregime¹ im Untersuchungsgebiet miteinbezogen werden (Conedera 2005, S. 75).

Oftmals sind es dickborkige Baumarten wie Eichen, alte Birken und Kastanien, die dank der isolierenden Wirkung der Borke ein oberirdisches Feuer unbeschädigt überleben. Kaum beeinträchtigt werden meist auch unterirdische Pflanzenteile, dies ist aber von der Art und Intensität des Feuers abhängig (Moretti et al. 2001, S. 2).

Durch den Wind verbreitete Arten, sowie Arten, die wieder austreiben können, haben Vorteile in der Wiederbesiedlung einer Brandfläche. Dennoch werden häufig Feuer frequentierte Wälder immer lichter, das Binnenklima unausgeglichener als früher und der Regen wäscht die Asche aus dem Boden, so dass wichtige Nährstoffe verloren gehen. Auf Waldbrandflächen dominieren zunächst wenige, eher anspruchslose Arten, die oftmals mittels unterirdischer Organe überlebten (Moretti et al. 2001, S. 2).

Geissler und Hartmann untersuchten die 6 ha grosse, ehemalige Waldfläche, welche 1951 im Schweizerischen Nationalpark brannte. Dabei wurde die Vegetation grösstenteils zerstört. Einige Moose überlebten in feuchten Mulden. In den ersten paar Jahren nach dem verheerenden Brand nahm die Vielfalt der Moosarten rasch zu. Mit der Zeit verschwanden diese Pionierarten zum Teil wieder gänzlich. Im Gegensatz dazu nahm die Vielfalt von Gefässpflanzen über die gesamte Beobachtungsdauer von knapp 50 Jahren stetig zu. Hingegen wurden Baumarten, welche den Brand überlebten, im Sukzessionsverlauf seltener. Zwar wurden schon nach 3 Jahren wieder Föhrenkeimlinge festgestellt, zu Bäumen konnten sie sich jedoch bis heute nicht entwickeln. Entweder wurden sie von Wildtieren zertrampelt, gefressen oder sie vertrockneten, da ein vor Hitze schützendes Dach von Baumkronen fehlte (Geissler & Hartmann 2000).

Auf der 2003 durch Brandstiftung verursachten Waldbrandfläche in Leuk, VS werden seit 2004 jährlich Vegetationserhebungen für eine Dauerbeobachtungsstudie zur Wiederbesiedlung des Gebietes durch Gefässpflanzen durchgeführt. Überraschend war die Etablierung des echten Erdbeerspinates (*Blitum virgatum* L.) bereits im zweiten Untersuchungsjahr. In früheren Untersuchungsberichten zu ehemaligen Brandflächen in der Umgebung wurde diese Pflanze nicht explizit erwähnt (Moser, Gimmi & Wohlgemuth 2006, S. 179–180).

Diese Pflanzenart, welche zu den einjährigen Hackunkraut- und Ruderalgesellschaften gehört, steht in der Schweiz als potentiell gefährdete Pflanze auf der Roten Liste². Woher also kommt das plötzliche Auftreten dieser Art in einer solch hohen Anzahl? Die Forscher

¹Das Feuerregime ergibt sich aus der Kombination verschiedener Einflussfaktoren. Dabei spielen folgende Faktoren eine wichtige Rolle: die Jahreszeit, in welcher ein Feuer ausbricht, die Intensität sowie dessen Dauer (Moretti et al. 2001).

²Die vom BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) erlassenen und anerkannten Roten Listen sind ein rechtswirksames Instrument des Natur- und Landschaftsschutzes. Diese Listen dienen zusammen mit anderen Grundlagen zur Identifikation von Arten, für die spezielle Artenschutzprogramme notwendig sind. Zudem werden sie auch als Mittel für die Erfolgskontrolle im Naturschutz hinzugezogen (Keller, Zbinden, Schmid & Volet 2001, S. 14).

können sich vorstellen, dass das Vorkommen des Erdbeerspinates indirekt auf das Feuer zurückzuführen ist. Durch die veränderten Standortbedingungen nach dem Feuer profitieren viele Feuerfolger³. Zudem nehmen sie an, dass die Samen des Erdbeerspinates bereits vor längerer Zeit in den Boden der Waldbrandfläche gelangt sind und dort überdauert haben. Die Möglichkeit, dass die Samen nach dem Brand ins Gebiet transportiert wurden, ist relativ gering, bot doch die spärliche Vegetation im ersten Jahr kaum Nahrung für Tiere wie Gämse oder Vögel, die als potentielle Verbreiter in Frage kämen (Moser et al. 2006, S. 180–183).

Flechten

Flechten bestehen aus der Symbiose von Pilzen und Algen und benötigen zum überleben Licht und Feuchtigkeit. Zeitweise können sie ohne Schaden zu nehmen austrocknen oder enorme Temperaturunterschiede ertragen. Weltweit werden 16'000 Arten unterschieden. Davon kommen ca. 800 in der Schweiz vor, von denen fast 300 bedroht sind (Scheidegger & Clerce 2002, S. 11).

Auf Felsflächen und auf nicht eutrophierten Böden, d.h. auf mageren Böden, und epiphytisch an der Rinde oder auf dem Holz von Bäumen, finden die Flechten ihre Lebensräume. Also überall dort, wo sie keiner Konkurrenz durch höhere Vegetation ausgesetzt sind (Bradtka 2006, S. 18). In der Schweiz leben rund $\frac{2}{3}$ aller Flechtenarten auf Bäumen. Dabei bevorzugen sie unter anderem lichte, naturnahe Wälder und Altholzbestände, welche in früheren Baumgenerationen keine grossflächigen Störungen erfahren haben (Scheidegger & Clerce 2002, S. 11).

Die Erforschung der Flechten nach einem Feuer wurde lange nicht als wichtig empfunden, obwohl diese für das Ökosystem eine entscheidende Rolle spielen: Flechten erzeugen Substrate und Mikrohabitate, welche für späteres Leben in diesem Gebiet grundlegend sind und für Herbivoren Nahrung liefern. Aber noch wichtiger für ein Ökosystem nach einer Störung ist das Vorhandensein von Nährstoffen, welche die meisten Flechten in sich tragen (Romagni & Gries 2000, S. 1815–1816).

4.1.2 Boden

Smith und ihre Kollegen haben die Langzeitauswirkungen von Waldbränden auf den Boden in Chisholm, Alberta, USA untersucht und dabei vier unterschiedliche Flächen verglichen; zwei abgebrannte Flächen, eine davon mit viel Altholz, eine bewirtschaftete und eine vom Feuer unbeeinflusste Fläche, welche als Kontrollfläche diente. Ein Jahr nach einem grossen Feuer erhöhte sich der Kohlenstoffgehalt in der Biomasse auf der Fläche mit Totholz um bis zu 74%. Ohne Totholz kam es zu einer Erhöhung von gut 50%. In der bewirtschafteten Fläche wurde 18% mehr Kohlenstoff gefunden, als in der Kontrollfläche. Auch der Stickstoffgehalt erhöhte sich in den abgebrannten, unbewirtschafteten Flächen. Eine Abnahme um 25% wurde hingegen in der bewirtschafteten Fläche festgestellt. Die Autoren vermuten, dass diese Erhöhung durch die mikrobiellen Anpassungen aufgrund

³Pflanzen, die sich nach einem Feuer etablieren können, da sie von der neue Situation profitieren: mehr Licht, höhere Temperaturen, veränderter Mineraliengehalt des Bodens und andere Bodenfeuchtigkeit (Moser et al. 2006, S. 181–182).

der Anreicherung von NH^{4+} und NO^{3-} beim Verbrennen zustande kommt (Smith, Kishchuk & Mohn 2008, S. 216).

Feuer können Temperaturen von über 1'000 °C am Boden erzeugen, welche eine hohe Anzahl physikalisch-chemische Vorgänge verursachen. Dabei können auch Wasser abweisende (hydrophobe) Schichten innerhalb der Bodenstruktur entstehen, welche die Wasserinfiltration reduzieren und die Bodenerosion erhöhen. Die Konzentrationen von Phosphor, Kalium und Magnesium steigen, welche wiederum den pH-Wert ansteigen lassen (Smith et al. 2008, S. 216).

Durch das Verbrennen der Streuschicht und zum Teil auch der Humusschicht können die Steine an der Oberfläche destabilisiert werden und ins Rollen geraten. Wegen der fehlenden Bodenbedeckung können Regentropfen direkt auf den nackten Boden prallen und dadurch die Bodenstruktur zerstören. Erosion und Auswaschungen sind die Folgen. Zudem trocknet der nackte Boden schneller aus und die Bodenoberfläche kann wasserundurchlässig werden. Rillenartige Erosionsformen entstehen, vor allem in den ersten Monaten nach einem Feuer (Conedera 2005, S. 75).

4.1.3 Fauna

Wirbellose

Entgegen den Erwartungen verändert sich die Artenzusammensetzung der wirbellosen Tiere nach einem Lauffeuer kaum. Die Individuenzahl kann sich aber stark dezimieren. Dies ist abhängig von den Lebens- und Verhaltensweisen der einzelnen Tierarten. Am meisten gefährdet sind Arten, die in der Streuschicht überwintern, wie zum Beispiel Spinnen, Laufkäfer und Ameisenarten. Hingegen kommen Arten, die unterhalb der Streuschicht überwintern, wie zum Beispiel die Asseln oder der Tausendfüßler sowie kurzfristig auch die fliegenden Arten (Käfer, Bienen, Wespen etc.) bei einem Lauffeuer kaum zu Schaden. Zudem wurde beobachtet, dass in frisch abgebrannten Waldflächen die Artenzahl kurzfristig zunehmen kann, weil auf Rauch und Wärme (Infrarot) spezialisierte Tierarten angezogen werden (Moretti et al. 2001, S. 1).

Im mediterranen Klima südlich der Schweizer Alpen untersuchten Moretti, Obristand und Duelli die Auswirkungen von Waldbränden auf wirbellose Tiere. Obwohl bereits viele Untersuchungen diesbezüglich gemacht wurden, konzentrierte sich kaum eine Studie auf die spezielle Situation im Tessin: Winterfeuerregimes und Kastanienwälder. Dabei stellten sie fest, dass hohe Feuerfrequenzen (mehrere Brände innerhalb von 30 Jahren) sich überwiegend positiv auf Arten auswirken, die im Wald oder am Waldrand leben, wie z.B. auf Laufkäfer, Schwebefliegen, Wildbienen, Wespen oder Spinnen. Eher negative Auswirkungen haben die Feuer auf Asseln, Ameisen und einige Familien der Käfer. Häufig eintretende Feuer beeinflussen zudem die Artenzusammensetzung von fliegenden Insekten, nicht aber die Anzahl Individuen. Zudem fördern Waldbrände oftmals Arten, die bedroht oder gefährdet sind (Moretti, Obristand & Duelli 2004, S. 173).

Moretti und Barbalat (2004) konzentrierten sich in einer anderen Studie auf die Auswirkungen auf Holz fressende Käfer. Sich schnell ausbreitende Winterfeuer haben keine direkten Auswirkungen auf deren Artenreichtum. Sie stellten eher die Tendenz fest, dass nach einem Waldbrand, respektive einem Brand im offenen Gelände, der Artenreichtum

höher ist als in einem intakten Wald (Moretti & Barbalat 2004, S. 85).

Der braungraue Laubholzbock (*Leiopus nebulosus*), welcher dominant in intakten Wäldern vorgefunden wurde, verschwand auf kürzlich abgebrannten Flächen. Auf Flächen, die vor 7–14 Jahren abgebrannt waren, leben nur wenige dieser Laubholzböcke. Erst in Gebieten, die vor mehr als 22 Jahren durch Feuer verändert wurden, fand man ähnliche Populationen wie auf Flächen in intakten Wäldern (Moretti & Barbalat 2004, S. 85).

Kleintiere

Im Norden von Arizona untersuchten Kyle und Block (2000, S. 163) die Auswirkungen von Feuern auf Kleintiere. Ihr Fokus richtete sich dabei auf die zwei in den untersuchten Gebieten am häufigsten vorkommenden Spezien, die Hirschmaus (*Peromyscus maniculatus*) und das Grauhals–Streifenhörnchen (*Tamias cinereicollis*). Für die Untersuchung zogen die Forscher drei Flächen bei. Die eine Fläche wurde durch einen Waldbrand arg in Mitleidenschaft gezogen, die zweite Fläche hatte im gleichen Jahr (1996) ein nicht sehr starkes Feuer erlebt und die dritte Fläche diente als Kontrollplot.

Ein Jahr nach den Feuern untersuchten die Forscher die Kleintiere auf diesen drei Flächen. In den drei Flächen wurden keine signifikanten Unterschiede bei der Anzahl an Hirschmäusen und Grauhals–Streifenhörnchen gefunden. Auch zeigt das Resultat auf, dass die Anzahl der Arten sich kaum voneinander unterscheidet (Kyle & Block 2000, S. 163–166).

Huftiere

Gonzales und seine Kollegen konzentrierten sich in ihren Untersuchungen auf die Auswirkungen von Waldbränden auf Huftiere. Durch das Abbrennen von Wäldern entstehen grosse Weideflächen, die als Futterflächen dienen, was die Population von Huftieren fördert. Den Fokus ihrer Untersuchung legten sie auf Rehe und Hirsche. Die Autoren verglichen die Zeitreihe der Hirschpopulation mit der Zeitreihe von Feuervorkommnissen und stellten einen signifikanten Zusammenhang fest. Die Hirschpopulation vergrösserte sich immer nach einem Feuervorkommnis. Während feuerarmen Zeiten schwand die Population auf ihre ursprüngliche Grösse (González-Gabán, Loomis, Griffin, Wu, McCollum, McKeever & Freeman 2003).

Avifauna

In South Carolina untersuchten Wissenschaftler über zwei Jahre hinweg die Auswirkungen von Feuern auf Vögel. Während ihrer Studien nutzten sie die Möglichkeit Flächen kontrolliert abzubrennen, um die Auswirkungen auf die Vogelpopulationen zu untersuchen. Die meisten Populationen der Wintervögel vergrösserten sich nach einem Waldfeuer. Grosse Verluste verzeichnete z.B. das Indianergoldhähnchen (*Regulus satrapa*). Bei den Brutvögeln hingegen konnten keine grossen Änderungen der Populationen nach dem Feuer festgestellt werden (Zebehazy, Lanham & Waldrop 2004, S. 84).

Apfelbaum und Haney untersuchten die Vogelpopulationen in Minnesota vor sowie auch nach einem Waldbrand im selben Gebiet. Von den zwölf vor dem Brand vorhandenen Vogelarten waren etwa ein Jahr nach dem Waldbrand nur die Hälfte wieder zurückgekehrt. Dafür konnten acht neue Arten gefunden werden. Dieser Artenzuwachs erklärten

sie sich durch die vielfältigeren Nahrungsgrundlagen für Vögel, welche sich durch die grössere Biodiversität nach einem Feuer ergibt. Der Rückgang des Gesamtvolumens des Nahrungsangebots nach einem Feuer widerspiegelt sich in der Abnahme der Gesamtzahl der Vögel im Untersuchungsgebiet (Apfelbaum & Haney 1981, S. 347).

Drei Jahre nach dem Waldbrand in Leuk (2003) haben die Ornithologen eine Brutbestandesaufnahme gemacht und festgestellt, dass sich in den ehemaligen Föhren-, Fichten- und Lärchenwälder 44 Brutvogelarten angesiedelt hatten. Drei dieser Arten (Heidelerche (*Lullula arborea*), Wendehals (*Jynx torquilla*) und Steinrötel (*Monticola saxatilis*)) stehen in der Schweiz auf der Roten Liste. Sieben davon gehören den 50 Prioritätsarten⁴ der Schweiz an. Vor allem Vögel, die offene Habitats bevorzugen, wurden vorgefunden. Nur wenige Waldvogelarten, wie zum Beispiel die Tannenmeise (*Periparus ater*) oder der Zaunkönig (*Troglodytes troglodytes*) siedelten sich im ehemaligen Baumgebiet an (Sierro & Posse 2008, S. 6). Diese zwei Arten sowie die Steinrötel kommen bereits jetzt in den Wäldern des SNPs vor (Filli, Haller, Moritzi, Negri, Obrecht, Robin & Schuster 2000, S. 90).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die meisten Spezien von Feuern profitieren, auch wenn bei Waldbränden immer wieder Tiere und Pflanzen verenden. Einige Tiere bevorzugen sogar abgebrannte Flächen, da dort unter anderem der Mineraliengehalt erhöht ist oder durch die niedrige Flora die Beute besser ersichtlich ist. Zudem bieten junge Kiefern guten Schutz vor Jägern, was der Michiganwalsänger (*Dendroica kortlandii*) ausnützt und sich dort einnistet (Gorte 2006).

4.1.4 Infrastruktur

Durch Feuer veränderte Landschaften wirken auf viele Menschen distanzierend und rufen negative Gefühle hervor. Ein Waldbrand zerstört nicht nur direkt Infrastrukturen wie Gebäude, Strassen etc. sondern kann sekundäre Effekte wie Erosion, Murgänge, Steinschlag oder auch Lawinen durch das Fehlen des Waldes hervorrufen. Diese Vorgänge werden vor allem in Berggebieten beobachtet.

2003 führte der verheerende Brand in Leuk (VS) zu einer völlig neuen Gefahrensituation für Leuk selber, aber auch für die Strasse nach Leukerbad. Die Bekämpfung der Erosion sowie die Wiederbewaldung der abgebrannten Fläche stand im Zentrum des Interesses. Mit verschiedenen Massnahmen wie Lawinen- und Steinschlagverbauungen, Erosionsschutz sowie Wiederbewaldung wurde die Schutzwirkung beibehalten (Wohlgemuth, Duelli, Ginzler, Gödickemeier, Hadorn, Hagedorn, Küttel, Lüscher, Moretti, Schneiter, Sciacca & Wermelinger 2005, S. 345).

⁴Prioritätsarten sind Arten, die für die Schweiz besonders wichtig sind und daher einen besonderen Schutzstatus erhalten haben. Beispielsweise bei den Vogelarten brütet ein hoher Anteil in der Schweiz. Daher hat die Schweiz für diese Arten international eine spezielle Verantwortung. Die Liste der Prioritätsarten umfasst deshalb z.T. andere Arten als die Roten Listen. Diese sind aber wichtige Instrumente zur Ausarbeitung solcher Prioritätslisten (Keller et al. 2001, S. 42).

4.2 Zusammenfassung relevanter Untersuchungen im SNP

4.2.1 Waldbrände im SNP während des Holozäns

Im SNP wird seit beinahe 100 Jahren strikter Naturschutz betrieben. Dabei wurden die Borealen Wälder des SNPs nicht mehr genutzt, was zu einer Brandgutsituation geführt hat, bei welcher natürliche Feuerzyklen wieder eine Rolle spielen könnten. Die Frage, welche Rolle natürlich verursachte Feuer in dieser Gegend gespielt haben und welche Rolle sie zukünftig spielen könnten, ist für die Erarbeitung eines Feuermanagementkonzepts im SNP bedeutend (Allgöwer 2007, S.2).

Vorhandene Daten über historische Ereignisse sind Grundelemente für die Abschätzung von natürlichen Gefahren. Diese Daten können die Häufigkeit, räumliche Ausdehnungen und Dauer von Naturereignissen über Jahrhunderte hinweg aufzeigen. Zudem sind diese Daten hilfreich für die Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Naturereignissen und können so für die Risikobeurteilung hinzugezogen werden (Glade, Albini & Frances 2001, S. xvii).

Stähli und Kollegen haben anhand von Kernbohrungen und Pollenanalysen die Geschichte von Waldbränden im SNP rekonstruiert. Dabei konzentrierten sie sich auf die Gebiete Il Fuorn und Il Fuldera. Durch die Untersuchung der makroskopischen Kohlenkonzentrationen konnte festgestellt werden, in welchen Intervallen es an diesen Stellen gebrannt hatte. Die Ergebnisse fielen an den zwei Untersuchungsstandorten sehr unterschiedlich aus (Stähli, Finsinger, Tinner & Allgöwer 2006).

In Il Fuorn waren die Feuerfrequenzen im frühen und mittleren Holozän kürzer (alle 350 Jahre) als im späten Holozän (ca. alle 600 Jahre). Im Gebiet Il Fuldera traten, während der gesamten Untersuchungsperiode von 4030 v.Chr. bis heute, Feuer ungefähr alle 500 Jahre ein. Diese Feuerereignisse waren in diesem Gebiet aber sehr unterschiedlich verteilt. Im Zeitraum nach 410 nach Chr. bis heute fand etwa alle 265 Jahre ein Feuer in dieser Region statt, wo hingegen vor dieser Zeit bis 4030 v. Chr. nur etwa alle 740 Jahre ein Feuer aufgetreten ist. Sehr wahrscheinlich trugen anthropogene Einflüsse zur Steigerung der Feuerfrequenzen bei (Stähli et al. 2006).

Bei diesen zwei Untersuchungsstandorten wurden ähnliche Feuerfrequenzen der verschiedenen Waldtypen gefunden: In Legföhrenwäldern trat ein Waldbrand durchschnittlich alle 230 Jahre auf, wo hingegen Rottannenwälder durchschnittlich nur alle 595 Jahre brannten. Waldbrände in Mischwäldern waren noch seltener. Gemäss den Untersuchungen konnte ein Ereignis in 1'000 Jahren festgestellt werden (Stähli et al. 2006).

4.2.2 Diplomarbeiten und Dissertationen

Seit das Thema ‚Waldbrand‘ in die Forschungsarbeit des SNPs aufgenommen wurde, entstanden seit Mitte der 1990er Jahre viele Arbeiten, welche vor allem am Geographischen Institut der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit dem SNP durchgeführt wurden. Nachfolgend sind die wichtigsten Arbeiten zum Thema Waldbrand und SNP für diese Arbeit zusammengefasst.

Besuch und BesucherInnen des Schweizerischen Nationalparks - Manuel Ott (1995)

Die Diplomarbeit von Manuel Ott wurde nicht im Zusammenhang des Forschungsschwerpunkts Waldbrand und SNP erarbeitet. Da aber seine Ergebnisse bezüglich der Wegfrequentierungen der Besucher im SNP ein wichtiger Aspekt für diese Arbeit sind, wird seine Arbeit hier aufgeführt.

Um die Belastung des SNPs durch die steigende Anzahl Besucher abzuschätzen, hat die Nationalparkdirektion in Zusammenarbeit mit der wissenschaftlichen Nationalparkkommission von 1991 bis 1993 BesucherInnenzählungen durchgeführt. In seiner Diplomarbeit hat Manuel Ott eine Auswertung über die Zählungen vom 9. und 10. August 1991 sowie vom 25. und 26. September 1992 gemacht. Dabei werden die Verteilung der BesucherInnen auf die Teilgebiete und Wegabschnitte beschrieben, das Nationalpark bezogene Verhalten der BesucherInnen untersucht sowie Zusammenhänge zwischen den Merkmalen der BesucherInnen und deren Verhalten aufgezeigt (Ott 1995).

Modellierung des potentiellen Waldbrandverhaltens mit einem geographischen Informationssystem - Reto Schöning (1996)

Reto Schönings Hauptaugenmerk richtete sich in seiner Diplomarbeit auf die Modellierung des Waldbrandverhaltens mit Hilfe von GIS. Dabei wurden bestehende Ansätze untersucht und ausgewählte Modelle in einem Prototypsystem implementiert. Im ersten Teil der Arbeit konzentrierte er sich auf die Grundlagen des Feuermanagements und der Waldbrandmodellierung, bevor er sich im zweiten Teil der Entwicklung des Prototypsystems zuwandte. Mit diesem Prototypsystem legt er die Grundlagen für die Waldbrandarbeiten im Rahmen des GIS-SNP (Schöning 1996).

Brandgutdaten in der Waldbrandmodellierung - Stephan Harvey (1996)

Die quantitative Erfassung von Brandgut setzte sich Stephan Harvey in seiner Diplomarbeit zum Ziel. Er führte in der Region Malcantone (Kanton Tessin) an drei verschiedenen Waldtypen Brandgutdatenerhebungen durch. Dabei entstand eine aus sieben Brandgutparametern und 54 Stichprobenpunkten bestehende Datenmatrix. Somit konnte er Ausbreitungsraten errechnen, welche Grundlagen für Waldbrandmodellierungen bilden. Die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen können für weitere Erhebungskampagnen (z.B. im SNP) verwendet werden (Harvey 1996).

Konzeption eines Waldbrandmanagements für die Region Engiadina Bassa/Val Müstair und den Schweizerischen Nationalpark - Andreas Bärtsch (1998)

Ziel der Diplomarbeit von Andreas Bärtsch war es, die Bedürfnisse für ein Waldbrandmanagement zu evaluieren. Sein Untersuchungsgebiet hat sich nicht nur auf den SNP beschränkt, sondern beinhaltete auch das Unterengadin sowie das Val Müstair. Für den Zugang zum Expertenwissen erarbeitete er einen Fragenkatalog mit 50 Fragen zu den Themen Risikobewusstsein, Gefahrenermittlung, Risikoanalyse, Risikohandhabung sowie Risikomanagement-Controlling/Rückkoppelung. Anhand des Fragenkatalogs befragte er

Revierförster der Forstkreise 24–28 im Kanton Graubünden, drei Vertreter seitens der Feuerwehr, den Direktor des SNPs sowie einen Vertreter des Forstinspektorates in Graubünden. Seine Erkenntnisse hat er anhand räumlicher Auswertungen mit Hilfe von Karten dargestellt (Bärtsch 1998).

Zeitliche und räumliche Charakterisierung von Waldbrandherden im Kanton Graubünden - Rahel Langhart (1999)

Die Erarbeitung einer Waldbranddatenbank des Kantons Graubünden mit 224 Bränden aus den Jahren 1980 bis 1997 war der erste Teil der Diplomarbeit von Rahel Langhart. Im zweiten Teil wurden diese Daten auf zeitliche und räumliche Muster hin untersucht. Zudem schloss sie Wetterkomponenten in ihre Analysen mit ein. So suchte sie Antworten auf Fragen wie ‚Wo könnte ein Waldbrand ausbrechen (räumlich)?‘ oder ‚Wann ist die Wahrscheinlichkeit für einen Brandausbruch am grössten (zeitlich)?‘. Anhand deskriptiver Statistik und statistischen Tests sowie GIS- und Korrelationsanalysen konnten Aussagen über die Zusammenhänge zwischen den Attributen (Indikatoren, welche zu Brandursachen beitragen, wie z.B. Hangneigung, Jahreszeiten etc.) und einem Brandausbruch gemacht werden (Langhart 1999).

GIS-based Wildland Fire Risk Analysis - Andreas Bachmann (2001)

Andreas Bachmann hat sich in seiner Dissertation mit der räumlichen Analyse des Waldbrandrisikos auseinandergesetzt. Er versucht in seiner Arbeit die Bedeutung eines Waldbrandes zu erfassen. Dies bedingt eine detaillierte räumliche Analyse. Dabei wird nicht nur das Brandverhalten, sondern auch die Zusammenhänge zwischen Ausbruchsort und gefährdeten Objekten berücksichtigt. Als Kern wird die sogenannte Risikomatrix verwendet, welche alle Szenarien mit sämtlichen Objekten verknüpft um damit das Risiko von verschiedenen Szenarien, als auch das Risiko von gefährdeten Objekten zu bestimmen (Bachmann 2001).

Holozäne Feuergeschichte und Feuerökologie des Schweizerischen Nationalparks - Markus Stähli (2004)

Anhand von Holzkohleanalysen konnte Markus Stähli Informationen über die Feuergeschichte und die ökologische Rolle von Waldbränden gewinnen. Er wertete zwei Bohrkern aus, die in den Moorebenen der subalpinen Stufe gezogen wurden: Bei Il Fuorn im Schweizerischen Nationalpark und bei Fuldera im Münstertal (GR). Regionale Feueraktivitäten konnten mit Hilfe der mikroskopischen Holzkohleanalyse untersucht werden. Makroskopische Kohlestücke zeugen von lokalen Waldbränden, die in nächster Entfernung zum Bohrstandort aufgetreten sind (Stähli 2004). Bergföhrenwälder wiesen im Vergleich zu Fichtenwäldern relativ kurze Feuerintervalle auf. Die intensivere Landnutzung vor ca. 2'000 Jahren zeigt sich im deutlichen Anstieg der Feueraktivität in dieser Zeit (Stähli 2004).

LIDAR Remote Sensing for Estimation of Biophysical Vegetation Parameters - Felix Morsdorf (2006)

Felix Morsdorf beschäftigt sich in seiner Dissertation mit der Ableitung von strukturellen Informationen aus flugzeugbasierten laser scanning (ALS) Daten in ihrer rohen, unverarbeiteten Form (3D-Punktwolke) zur Bestimmung von biophysikalischen Vegetationsparametern. Zudem entwickelte er eine Methode zur Erfassung der Geometrie von Einzelbäumen. Er konnte aufzeigen, dass Eigenschaften wie Baumposition, Baumhöhe und Kronendurchmesser in einem automatischen Verfahren aus der Punktwolke abgeleitet werden können. Ebenfalls konnte aus den ALS Daten eine Methodik entwickelt werden, die es erlaubt Grössen, die die Dichte der Vegetation beschreiben, herzuleiten (Morsdorf 2006).

Estimating Biophysical and Biochemical Properties over Heterogeneous Vegetation Canopies

Radiative Transfer Modeling in Forest Canopies Based on Imaging Spectrometry and LIDAR - Andreas Kötz (2006)

Mit Hilfe der kombinierten Auswertung der unabhängigen Dimensionen der Erdbeobachtung durch Bildspektrometrie und LIDAR basierend auf Strahlungstransfermodellierung konnte Andreas Kötz eine Bestandesaufnahme der Vegetation vornehmen. Zuverlässige Bestandeseigenschaften wurden ausgearbeitet. Dabei konnte er sowohl horizontale und vertikale Bestandesstrukturen als auch die Biochemie der Belaubung eines Nadelwaldes aufzeigen. Aus diesen Informationen können quantitative Vegetationseigenschaften abgeleitet werden, welche wiederum für Brandgutmodellierungen eingesetzt werden können (Kötz 2006).

Verbrannt oder geschlagen? Eine Untersuchungsmethode zur Rekonstruktion der rezenten Feuer- und Holzschlaggeschichte der Wälder des Schweizerischen Nationalparks - Michael Bur (2006)

Catfaces⁵, waren die wichtigsten Indizien bei der Erarbeitung der Diplomarbeit von Michael Bur. Diese Feuerspuren in den Wäldern des SNPs belegen die Bedeutung von Feuern in früheren Zeiten. In seiner Arbeit entwickelte Michael Bur eine Untersuchungsmethode, um die Feuergeschichte anhand von Feuerspuren zu rekonstruieren. Die Beprobung der Bäume mit Catfaces erfolgte meistens mit Hilfe des Zuwachsbohrers (Entnahme von Bohrkernen), nur in wenigen Fällen mussten die Bäume gefällt werden. Dadurch konnten Datierungen, meistens auf das Jahr genau, oder mit maximal 20 Jahren Abweichung, gemacht werden (Bur 2006, S. III).

Da Holzschlag ähnliche Verletzungsmerkmale an Bäumen verursachen wie ein Feuer, musste Michael Bur diesen auch berücksichtigen. So konnte er zwei historische Ereignisse rekonstruieren: Ein Waldbrand im Winterhalbjahr 1934/1935 sowie Holzschläge in den Jahren 1897 bis 1899, wobei im Winterhalbjahr 1897/1898 zusätzlich ein kleiner Waldbrand gewütet haben muss (Bur 2006).

Die Resultate in seiner Studie liefern Hinweise zum anthropogen geprägten Feuerregime

⁵Catfaces sind dreieckige Feuerverletzungen an Bäumen und entstehen, wenn Rinde und Kambium durch Oberflächenfeuer geschädigt werden, ohne dass der Baum dabei abstirbt (Bur 2006, S. III).

in den Wäldern des SNP und bilden so einen weiteren Mosaikstein in der Landschafts- und Vegetationsgeschichte des Ofenpassgebietes (Bur 2006, S. III).

4.2.3 Relevante Ergebnisse für diese Arbeit

Einen wichtigen Grundstein für diese Arbeit legte Andreas Bärtsch (1998), der das Bewusstsein der Revierförster und Parkmitarbeiter bezüglich Waldbrand und der daraus resultierenden Risiken ergründete. Sein dafür ausgearbeiteter Fragenkatalog zeigt eine Möglichkeit auf, wie Expertenwissen erfasst werden kann. Räumliche Analysen zu den Auswirkungen eines Waldbrandes auf Flora, Fauna, Boden und die Infrastruktur wurden aber in seiner Befragung nicht berücksichtigt. Dieses Wissen wurde anhand einer neuen Expertenbefragung für diese Arbeit erarbeitet (siehe Kapitel 7 und 9).

Für die klare Definition des Begriffs Risiko wurde auf die Dissertation von Andreas Bachmann (2001) zurückgegriffen. Wichtige Aspekte und Schwierigkeiten der Definition dieses Begriffs hat er in seiner Arbeit diskutiert. Seine Definition, Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit \times Auswirkungen, wurde für diese Arbeit übernommen und dient als Grundlage für die Berechnung (siehe Kapitel 3.1).

Die Trends der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener und natürlich verursachter Feuer, welche Rahel Langhart (1999) statistisch nachweisen konnte (siehe Anhang B), konnten teilweise in diese Arbeit übernommen werden. Jedoch musste berücksichtigt werden, dass in Langhart's Auswertungen der ganze Kanton Graubünden miteinbezogen wurde. Dem Gebiet des SNPs wurde dabei keine besondere Beachtung geschenkt. Die speziellen Verhaltensregeln für die Besucher im Nationalpark sind bei der Betrachtung der Resultate der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Feuer von Langhart zu berücksichtigen. Auch Langharts Resultate zur Eintrittswahrscheinlichkeit natürlich verursachter Waldbrände müssen mit Vorsicht betrachtet werden: Das Gebiet des SNPs weist wenig Niederschlag auf und ist verglichen mit dem ganzen Kanton Graubünden überdurchschnittlich hoch gelegen. Diese Aspekte wurden berücksichtigt und in diese Arbeit aufgenommen (siehe Kapitel 6.2).

Das Wissen über unterschiedliche Feuerregime in den Wäldern des SNPs konnte aus der Arbeit von Markus Stähli (2004) gewonnen werden. Das Feuerregime der Bergföhre konnte er während seinen Untersuchungen nicht explizit eruieren. Anhand der durchschnittlichen Lebensdauer von Bergföhren und Legföhren konnte aber das Feuerregime der Bergföhre abgeschätzt und in die hier vorliegende Arbeit integriert werden.

Für die Modellierung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände war die Studie von Manuel Ott (1995) von grossem Nutzen. Anhand der Besucherfrequenzen auf verschiedenen Wegabschnitten konnte die unterschiedliche Eintrittsgefahr von Waldbränden aufgezeigt und in die Gesamtberechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Feuer miteinbezogen werden (siehe Kapitel 6.2.3).

Teil III

Material und Methodik

Kapitel 5

Untersuchungsgebiet und Datenumgebung

5.1 Der Schweizerische Nationalpark

Obwohl der Schweizerische Nationalpark erst am 1. August 1914 gegründet wurde, ist er der älteste Nationalpark Mitteleuropas (Robin 2004, S. 7). Der 17'030 ha grosse Park ist ein Naturreservat, das vor menschlichen Einflüssen und Eingriffen geschützt wird, aber der Allgemeinheit zugänglich ist, so weit es die Parkordnung zulässt (Nationalparkgesetz 1980, Seite 1). Die gesamte Pflanzen- und Tierwelt wird ihrer natürlichen Entwicklung überlassen und wissenschaftlich erforscht (UNESCO 2009).

Die drei Hauptziele des SNPs

Mit dem besonderen Schutzstatus des Schweizerischen Nationalparks werden drei Hauptziele verfolgt:

- **Naturschutz:** Der Nationalpark soll nicht durch menschliche Eingriffe verändert werden. Somit werden keine Tiere gejagt, keine Bäume geschlagen oder Wiesen gemäht.
- **Forschung:** Das Verständnis von natürlichen Prozessen steht im Vordergrund der Untersuchungen im SNP. Daher werden vor allem Langzeitstudien unterstützt. Dies ermöglicht Veränderungen in diesem Gebiet zu dokumentieren und zu erforschen.
- **Information:** Die gewonnenen Erkenntnisse werden der Allgemeinheit zugänglich gemacht. Dadurch hat sich der Park als wichtige Bildungseinrichtung im Bereich Natur hervorgetan (UNESCO 2009).

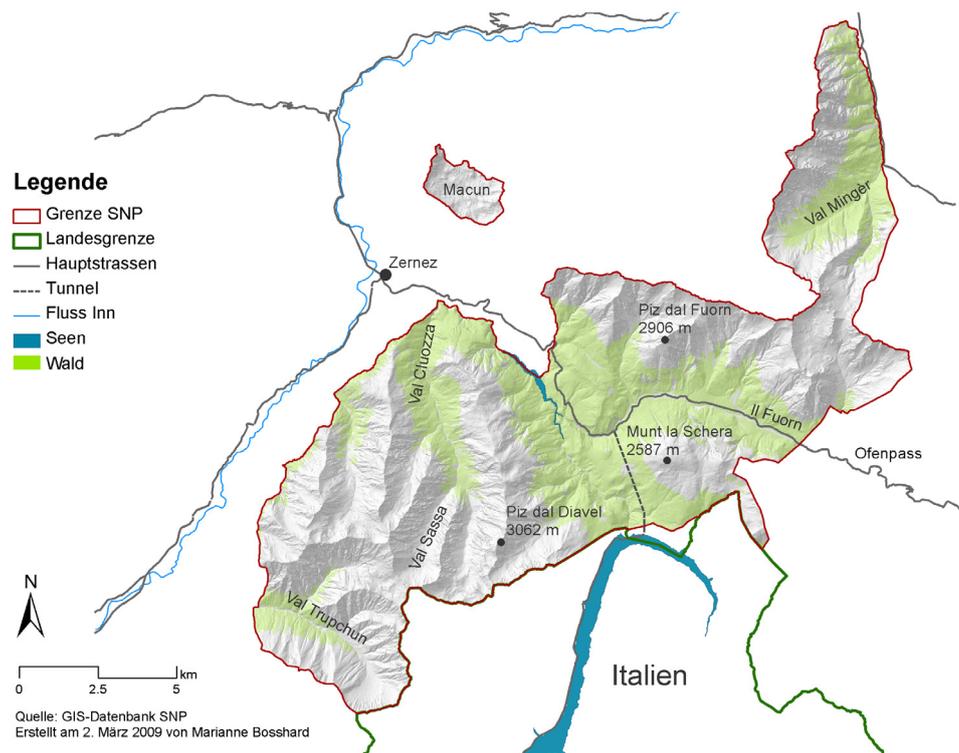


Abbildung 5.1: Übersicht über den SNP.

Naturlandschaft

Der 1979 ins UNESCO-Weltnaturerbe aufgenommene Schweizerische Nationalpark weist eine vielfältige und reichhaltige Natur auf. Der Gebirgspark erstreckt sich über das Gebiet der subalpinen und alpinen Stufen der Alpen. Der tiefste Punkt liegt im Val S-charl auf 1380 m.ü.M., der im Norden liegende Piz Pisoc ist mit 3174 m.ü.M. der Höchste (Robin 2004, S. 122). Mehr als die Hälfte des Gebietes wird als unproduktives Ödland bezeichnet, nur 21% besteht aus alpinen Rasen und 28% aus Wald (UNESCO 2009).

Grossflächige Schutthalden, welche durch das brüchige, kalkhaltige Gestein der Unterengadiner Dolomiten ständig neu gebildet werden, prägen das Bild. Nur in den Gebieten des Munt la Schera oder am Eingang des Val Trupchun dominiert der rötliche Verrucano. Um Macun charakterisiert kristallines Gestein die Landschaft, welches vor allem mit Gneisen und Amphibolithen angereichert ist. Daneben gehören die zwei grossen Blockgletscher im Val da l’Aqua sowie im Val Sassa zu den geologischen Besonderheiten dieses Gebietes (Robin 2004, S. 121–122).

Obwohl in den alpinen¹ und nivalen² Stufen vor allem Felswände, Steine, Schutt und Schneesreste dominieren, können dazwischen eingestreute Pionierpflanzen gefunden werden. Sie haben sich den extremen Bedingungen angepasst. Seit längerem ist auch zu beobachten, dass die ohnehin schon geringe Ausdehnung von Schnee und Eis im Park stetig abnimmt. Dies könnte auf den Klimawandel zurückgeführt werden (Robin 2004, S. 122).

In tiefer gelegenen Gebieten des Parks ist die Landschaft durch ausgedehnte Wälder geprägt. Dabei dominieren die Bergföhrenwälder. Unterhalb der Waldgrenze, welche sich im SNP durchschnittlich auf ca. 2300 m.ü.M. befindet, treten die Legföhrenwälder in den Vordergrund. Danach bilden Zwergsträucher den Übergang zu den subalpinen und alpinen Rasen. Diese riesige Weidefläche wird heute von Huftieren und den Murmeltieren genutzt (Robin 2004, S. 122).



Abbildung 5.2: Blick in den SNP. Quelle: eigene Aufnahme, August 2005

¹Alpine Höhenstufe bezeichnet die Stufe zwischen der alpinen Waldgrenze und der subnivalen Stufe und befindet sich daher unterhalb der klimatischen Schneegrenze (Leser et al. 2001, S. 28).

²Die nivale Stufe bezeichnet die Höhenstufe des Hochgebirges, die durch Schnee und Eis geprägt ist (Leser et al. 2001, S. 565).

Klima

Der Schweizerische Nationalpark zählt zum inneralpinen Trockengebiet und weist auf einer Höhe von 2000 m.ü.M. im Raum Zernez pro Jahr nur etwa 900 mm Niederschlag auf. Diese geringe Niederschlagsmenge ist charakteristisch für das dort herrschende Kontinentalklima. Die schwache Bewölkung verursacht extrem starke Sonneneinstrahlung, aussergewöhnlich geringe Luftfeuchtigkeit und jahreszeitlich ausgeprägte Temperaturschwankungen. Temperaturen zwischen -30 und $+30$ °Cs sind in dieser Region nichts aussergewöhnliches (Robin 2004, S. 124).

Geschichte

Bereits vor 5'000 Jahren lebten Menschen im Gebiet des heutigen SNPs. Auch konnten Siedlungen aus der Zeit um 400 v. Chr. nachgewiesen werden. Im Jahr 15 v. Chr. eroberten die Römer dieses Gebiet. Bis heute sind Reste von Römerwegen erhalten geblieben (Robin 2004, S. 129).

Der Ofenpass war im 8. Jahrhundert ein strategisch bedeutender Übergang. Dies belegt auch der Bau des Klosters Müstair in der damaligen Zeit. Später, zwischen dem 11. und 17. Jahrhundert war die Region im Zentrum des Bergbaus. Für die Gewinnung von Eisen, Silber und Blei wurden in den örtlichen Schmelzöfen und später auch bei den Salzbergwerken von Hall in Tirol tausende Kubikmeter Holz verbrannt. Sogar noch zwischen 1836 und 1847 fällten Holzerequipen im Auftrag von Holzhändlern auf etwa 1'700 ha Fläche im Ofenpassgebiet mehr als 100'000 m³ Holz. Dabei wurden fast die gesamten Wälder gerodet und geflösst. Zurück blieb wahrscheinlich nur Jungwuchs. Diese Ausbeutung der Wälder hinterliess ihre Spuren, welche an den monotonen Bergföhrenwäldern im SNP zu erkennen sind (Robin 2004, S. 130).

5.2 Verwendete Daten

Für die Modellierung der Risikoanalyse konnte auf zwei Datenquellen zurückgegriffen werden, welche hier kurz vorgestellt werden.

5.2.1 HabitAlp und Daten des GIS-Servers des SNPs

HabitAlp ist ein grenzüberschreitendes Forschungsprojekt des Netzwerks Alpiner Schutzgebiete mit dem Ziel, die Zusammenarbeit im Alpenraum durch Unterstützung innovativer Projekte zu stärken. Dazu wurden Massnahmen für den Schutz der Vielfalt des gemeinsamen, kulturellen Erbes über die Landesgrenzen hinweg entwickelt. Sie sollen einen Beitrag zur Förderung eines neuen Alpenbewusstseins leisten (Vogel, Plassmann & Lotz 2006, S. 4–7).

Die Entwicklung einer alpenweiten Methode zur Erfassung und Analyse der Landschaftsstruktur mit Farbinfrarot-Luftbildern war Hauptbestandteil von HabitAlp. Die raumbezogenen Ergebnisse wurden anhand eines Interpretationsschlüssels vereinheitlicht (Vogel et al. 2006, S. 8–15) und in eine transnationale Datenbank integriert (Lotz 2006, S. 14). Der SNP ist einer der 11 offiziellen Partner aus dem Netzwerk Alpiner Schutzgebiete. Dieses hat unter anderem einen hochaufgelösten Datensatz mit Habitatdaten, Flora und Oberflächenbeschaffenheit vom Gebiet des SNPs sowie den anliegenden Gebieten erarbeitet (Lotz 2006, S. 27). Diese Daten wurden für diese Arbeit zur Verfügung gestellt.

Während der ganzen Arbeit konnte auf den GIS-Server des SNPs zugegriffen werden. Dort sind alle relevanten raumbezogenen Daten gespeichert, unter anderem auch der HabitAlp-Datensatz. Wichtig hierfür war unter anderem das digitale Höhenmodell (DTM) mit 4 Meter Auflösung, welches über die Parkgrenzen hinweg verfügbar ist. Vektordaten mit den Wanderwegen, Rastplätzen, Hauptstrassen etc. konnten ebenso abgerufen werden, wie auch Daten betreffend Geologie und Botanik. Abgesehen von der Blitzstatistik (siehe unten) wurden alle in dieser Arbeit verwendeten Geodaten vom GIS-Server des SNPs bezogen.

5.2.2 Blitzstatistik von Siemens AG

Für die Modellierung der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Feuern wurde von der Firma Siemens AG freundlicherweise eine Blitzstatistik zur Verfügung gestellt. Die Daten zeigen das Datum und die Uhrzeit der Blitzeinschläge auf, die Stärke inklusive Polarisierung sowie deren Koordinaten.

Anhand des elektromagnetischen Feldes, welches bei einer Blitzentladung erzeugt wird und sich wellenförmig in alle Richtungen ausbreitet, können die Blitze geortet werden. Die hohe Genauigkeit basiert auf dem Time-Of-Arrival-Prinzip, bei dem der Einschlagsort aus der Differenz der in den Empfängern aufgezeichneten Zeiten berechnet wird. Die ermittelten Daten werden in einer Zentrale archiviert und für verschiedene Anwendungen zur Verfügung gestellt (Siemens AG 2007, www.blids.de, Zugriff: 16.02.2009).

Auszug aus der Blitzstatistik

Zentrum=172500/809500 Radius=16 km Anzahl= 3838

Datum Zeit	Typ	Stärke	LON	LAT	
05.04.2004 07:10	Erde	-2 kA	10.016	46.761	15.9 km
27.05.2004 19:02:59	Erde	-2 kA	10.189	46.712	4.5 km
08.06.2004 16:19:52	Wolke	-8.4 kA	10.316	46.714	11.5 km
08.06.2004 18:55:48	Erde	-7.4 kA	10.143	46.661	3 km
08.06.2004 20:15:42	Erde	-7.4 kA	10.067	46.704	9.3 km

Tabelle 5.1: Auszug aus der Blitzstatistik der Siemens AG.

Kapitel 6

Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes

Anhand der Resultate aus vorgängigen Untersuchungen (siehe Kapitel 4.2) sowie eigener Überlegungen wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes ausgearbeitet. Dabei wurden nicht nur Eintrittswahrscheinlichkeiten für natürliche Feuer, sondern zum Vergleich auch für anthropogene Feuer erarbeitet. Da das Ziel die Beurteilung des Risikos durch ein natürlich verursachtes Feuer ist, wurde für die weiteren Berechnungen die Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Feuer nicht miteinbezogen.

Jeder Faktor, wie z.B. die Blitzhäufigkeiten, der in die Berechnung einfließt, wird in einem eigenen Layer berechnet und am Schluss zur Erstellung der Eintrittswahrscheinlichkeit zusammengeführt. Dabei wird versucht, möglichst nur mit kontinuierlichen Daten (Feld-Modell) zu arbeiten. Diese Darstellungsart entspricht am ehesten der Realität. Wenn klare Abstufungen vorgegeben sind, kann dies nicht immer umgesetzt werden (Beispiel Waldgesellschaften).

6.1 Natürlich verursachte Waldbrände

Blitze sind die häufigsten Ursachen eines natürlich entstandenen Waldbrandes. Aber auch Steinschläge können zu Bränden führen. Zudem ist die Feuerfrequenz¹ abhängig von der Waldgesellschaft, wie dies Stähli und seine Kollegen im SNP nachweisen konnten (Stähli et al. 2006, S. 813).

Wie diese zwei Faktoren in die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines natürlich verursachten Feuers miteinbezogen werden, wird in den nachfolgenden Abschnitten erläutert.

6.1.1 Waldgesellschaften

Stähli und seine Kollegen untersuchten das Feuerregime an zwei Standorten im SNP anhand Kernbohrungen, Kohle- und Pollenanalysen (siehe hierzu eine Zusammenfassung im

¹Unter Feuerfrequenz wird die Häufigkeit von Waldbränden in einem Gebiet, welche durch natürliche Ursachen entstanden sind, verstanden. Die Feuer können in regelmässigen Intervallen auftreten oder kaum ein Häufigkeitsmuster aufweisen (Heinz 2008, S. 128).

Kapitel 4.2.1). Wichtige Erkenntnisse für die Erarbeitung der Eintrittswahrscheinlichkeit sind die dabei gefundenen Feuerfrequenzen in Abhängigkeit eines Waldtyps. Während Waldbrände in Legföhrenwäldern durchschnittlich alle 230 Jahre auftraten, konnte in den Fichtenwäldern nur etwa alle 600 Jahre ein Feuer nachgewiesen werden. Am seltensten sind Spuren von Waldbränden in Mischwäldern gefunden worden (Stähli et al. 2006, S. 813).

Das heutige Gebiet um den Ofenpass weist vor allem Mischwälder sowie Bergföhren- und Legföhrenwälder auf. Reine Fichtenwälder (Bestand von 90% oder mehr Fichten) sind nur an einem kleinen Ort im SNP ausgewiesen, treten aber vermehrt in den anliegenden Wäldern auf.

Die Feuerfrequenzen wurden für drei Waldgesellschaften im SNP berechnet. Doch wie

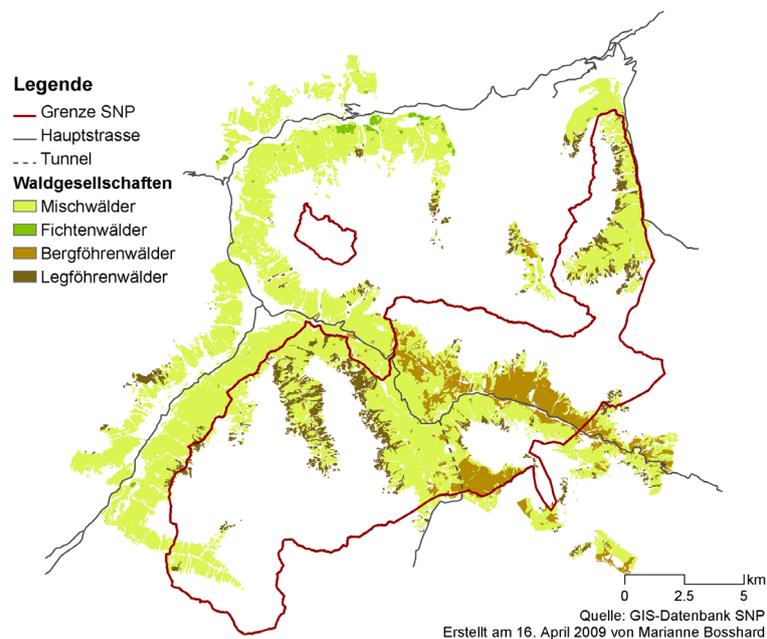


Abbildung 6.1: Vorkommen der Waldgesellschaften

steht es mit dem Feuerregime der Bergföhrenwälder, welches nicht in der oben erwähnten Studie diskutiert wurde? Weisen diese ähnliche Eigenschaften wie die Legföhrenwälder auf, da sie der gleichen Art (Bergföhre (*pinus mugo*) mit den Unterarten Bergföhre (*Pinus mugo ssp. mugo*) und Legföhre (*Pinus mugo ssp. uncinata*)) angehören? Die schweizerische Legföhre ist konkurrenzärmer als die Bergföhre und besiedelt daher Extremstandorte. Im SNP ist sie vor allem an der oberen Waldgrenze anzutreffen. Die Legföhre kann über 100 Jahre alt werden, doch erreicht sie nicht das Alter einer Bergföhre, welche bis zu 300 Jahre alt werden kann (Böni, Bereiter, Baumann & Bamer 2005, S. 1). Da die festgestellten Feuerregime ähnliche Zyklen wie das natürliche Alter der jeweiligen Baumart aufweisen, wird hier angenommen, dass die Bergföhre keine Ausnahme darstellt. Da sie durchschnittlich ein höheres Alter als die Legföhre erreicht, wird sie wahrscheinlich leicht weniger von einem Waldbrand betroffen sein. Somit sind die Wälder an der oberen Waldgrenze am stärksten durch natürliche Feuer gefährdet, gefolgt von den Bergföhren.

Stufe 5	sehr hohe Eintrittswahrscheinlichkeit	Legföhrenwälder
Stufe 4	hohe Eintrittswahrscheinlichkeit	Bergföhrenwälder
Stufe 3	erhebliche Eintrittswahrscheinlichkeit	Fichtenwälder
Stufe 1	geringe Eintrittswahrscheinlichkeit	Mischwälder

Tabelle 6.1: Einteilung der Waldgesellschaften in die verschiedenen Stufen der Eintrittswahrscheinlichkeit

Der HabitAlp-Datensatz (Kapitel 5.2.1) liefert die Datengrundlage. Dies ermöglicht es in ARCGIS (GIS-Software der Firma ESRI, Inc.) die Waldgesellschaften räumlich voneinander zu trennen und in Stufen zu unterteilen. Die Stufen zeigen dabei die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes in Abhängigkeit des Waldtyps auf. Hoch eingestufte Waldtypen symbolisieren eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit. Die Einstufung der Waldtypen ist zugleich auch eine Gewichtung dieser. Je kürzer die Feuerintervalle in einer Waldgesellschaft auftreten, umso höher wird die Wahrscheinlichkeit eines Feuers in diesen Wäldern gewertet. Anhand dieser Überlegungen entstand folgende Abstufung:

6.1.2 Blitzeinschläge

Nachdem das Excel-File der Blitzstatistik (siehe hierzu Abschnitt 5.2.2) in ein Datenbankformat umgewandelt wurde, konnten die Daten ins ARCGIS eingelesen werden. Die Übernahme des Datums konnte gewährleistet werden, die Uhrzeit der Blitze ging dabei jedoch verloren. Auswertungen mit diesem Parameter waren nicht vorgesehen.

Studien in den USA zu Beginn dieses Jahrhunderts (siehe Abschnitt 2.4.2) kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen. Nur in einer der beiden Untersuchungen konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Trockengewittern und Waldbränden nachgewiesen werden. Möchte man diese Informationen in diese Studie einbauen, müsste die spezifische Situation im SNP untersucht werden. Da aber noch keine Untersuchung diesbezüglich vorliegt, wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit eines durch Blitz entfachtetes Feuer steigt, je heftiger der Blitzeinschlag ist. Mit dem Befehl `kernel density` (Berechnung der Kerndichte) wurde eine Blitz-Dichtekarte auf Grund der Blitzstärke und -dichte erstellt. Dabei wurde mit den absoluten Werten der Blitzstärke gearbeitet, so dass sich positive und negative Entladungen nicht gegenseitig aufheben.

Um einen sinnvollen Untersuchungsradius (`search radius`) für die Kerndichte zu finden, wurden verschiedene Werte angenommen und die Resultate miteinander verglichen. In der Abbildung 6.2 sind Beispiele aufgezeigt.

Für die weitere Berechnung wurde die Kerndichte mit einem Suchradius von 2'000 km² angenommen, obwohl der vom System vorgeschlagene Suchradius von 1'057 km² auch seine Berechtigung hat: Die Blitzverteilung ist bei beiden Resultaten gut ersichtlich, Blitze mit hohen Stärkewerten wurden berücksichtigt und nicht zu stark geglättet. Trotzdem wurden Tendenzen aufgezeigt, welche für die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Feuers sehr bedeutend sind. Da bei einem Suchradius von 2'000 km² vor allem die Gebiete mit hohen Blitzhäufigkeiten und -stärken besser berücksichtigt werden, wird hier für die weiteren Berechnungen dieser Wert verwendet.

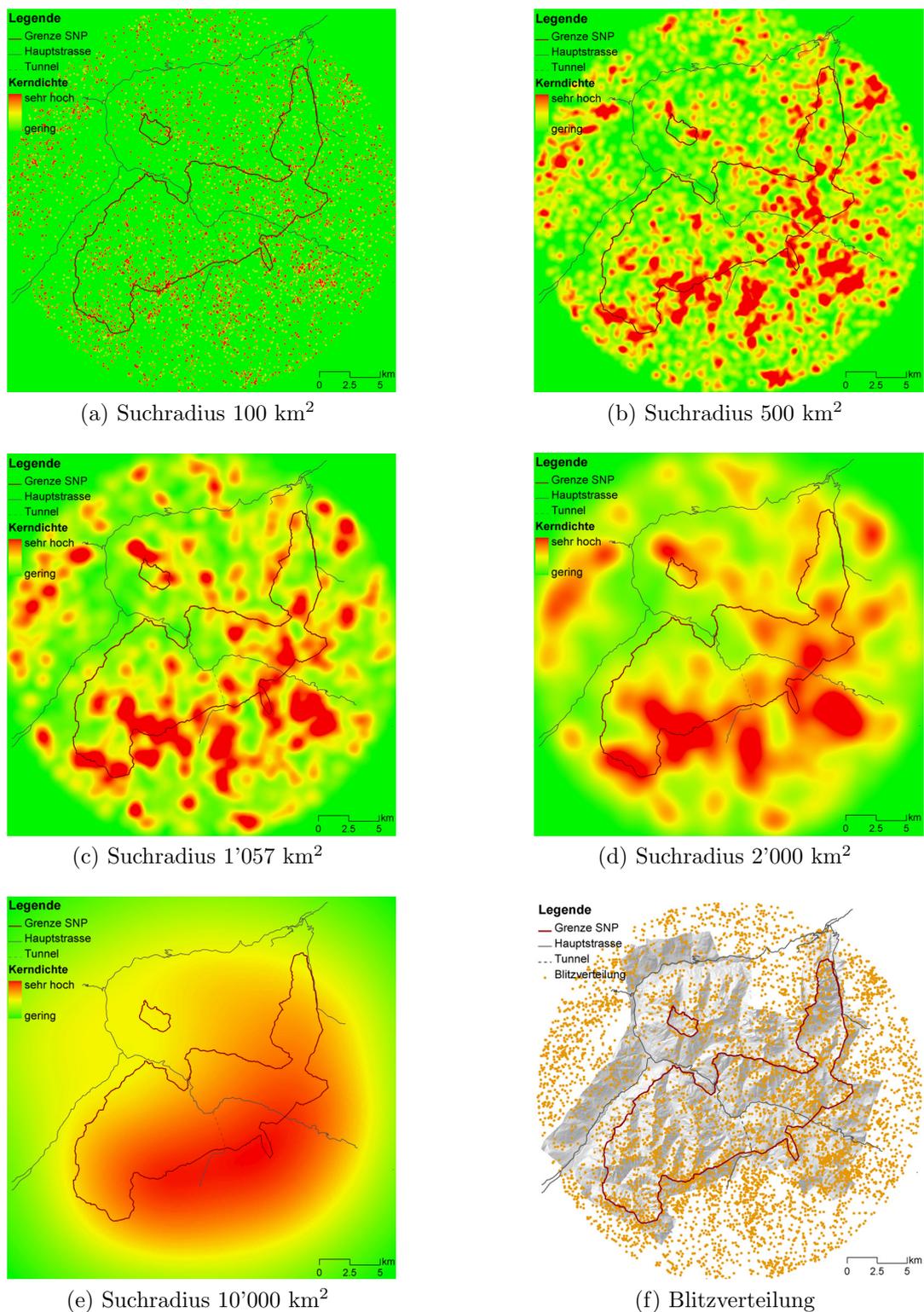


Abbildung 6.2: Resultat der Berechnungen der Kerndichte mit unterschiedlichen Suchradien. Darstellung anhand der Standardabweichung (siehe hierzu 8.1), Quellen: GIS-Server SNP und Blitzstatistik der Siemens AG

Die erhaltene Werteskala aus der Kerndichteberechnung wurde für die weiteren Berechnungen auf eine Skala von 5 bis ≈ 0 reduziert.

6.1.3 Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Für die definitive Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit wurden die oben besprochenen Faktoren ausgearbeitet und die Daten je in einem Layer gespeichert: Waldgesellschaften und Blitzeinschläge. Diese Layer wurden miteinander addiert. Eine Karte mit der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Feuern im Gebiet des Nationalparks entstand.

6.2 Anthropogene Waldbrände

Langhart (1999) untersuchte die Eintrittswahrscheinlichkeit von Feuern in Graubünden. Bei der Berechnung von anthropogenen Feuern muss berücksichtigt werden, dass die Daten von Langhart nicht direkt auf den SNP übertragen werden können, da dieser eine eigene Gesetzgebung bezüglich Verhalten der Besucher hat. Zum Beispiel ist es nur im SNP nicht erlaubt von den Wegen abzugehen oder kleine Feuer zum Grillen zu entfachen. Trotzdem treten diese Verstösse immer wieder auf (Bott 2009, mündliche Quelle, 6. Januar 2009). Aber auch das Wegwerfen von Zigarettenstummeln oder das Herumliegen lassen von Glasflaschen kann unter anderem zur Entfachung eines Feuers beitragen. Und welcher Raucher geniesst nicht gerne eine Zigarette auf einer Waldlichtung mit Blick auf die herumliegenden Berge oder studiert dabei gerne die Informationstafeln des SNPs? Diese Orte sind prädestinierter für die Entstehung eines nicht natürlich verursachten Feuers als andere.

Für die Erstellung der Karten der Eintrittswahrscheinlichkeit von anthropogenen Feuern wurden teilweise die Erkenntnisse von Langhart übernommen, aber auch die Ergebnisse der Untersuchungen über die Waldbrände während des Holozäns, Erkenntnisse aus der Diplomarbeit von Ott sowie Überlegungen von möglichen gefährdeten Stellen zur Entstehung eines Feuers. Diese Punkte sind in der Tabelle 6.4 zusammengefasst und werden weiter unten noch erläutert.

6.2.1 Modellierung exponentiell abnehmende Distanzwerte

Die meisten Besucher kommen zum Wandern und wegen der Tier- und Pflanzenwelt in den SNP. Sie kennen und respektieren die besonderen Verhaltensregeln in diesem Park. Daher kommt es selten vor, dass Besucher quer durch den Park wandern. Aber zum Beispiel für eine Toilettenpause wird der Weg teilweise kurz verlassen. Aus diesem Grund wurde die Gefahrenstufe innerhalb der ersten Meter um die Wege, Infotafeln oder Rastplätze herum als sehr hoch eingestuft. Mit zunehmender Entfernung nimmt die Gefahr eines anthropogenen Feuers exponentiell ab.

Für die Modellierung dieses Verhaltens wurde eine Maximaldistanz (Distanz wie weit sich der Besucher vom offiziellen Weg entfernt) festgelegt. Diese Werte sind in der Tabelle 6.4 in der Spalte ‚Distanzen‘ ersichtlich. Mit Hilfe des Befehls `Euclidean Distance`

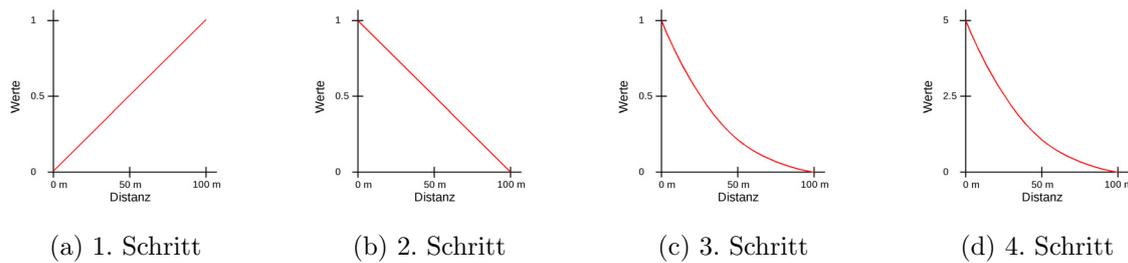


Abbildung 6.3: Berechnungsschritte im **Raster Calculator** für die Modellierung exponentieller Distanzwerte am Beispiel von 100m.

wurden die ursprünglichen Vektordaten (Strassen, Parkplätze etc.) mit einem Puffer der entsprechenden Distanz umlegt und in ein Rasterfile umgewandelt. Die Datenpunkte in den gepufferten Zonen zeigen die Distanz zu den Ausgangspunkten, resp. den Ausgangslinien an. Der Rest des Layers weist keine Datenwerte auf.

Um die lineare Distanzskala in eine exponentielle umzuwandeln, wurden die Daten mit Hilfe des **Raster Calculators** mit folgenden Schritten berechnet:

1. Layer \div Distanz
 \Rightarrow Werte sollen zwischen 0 und 1 liegen (Abbildung 6.3a)
2. 1 - Resultat
 \Rightarrow Umkehrung der Werteskala (Abbildung 6.3b)
3. Werte quadrieren
 \Rightarrow Exponentiell abnehmende Werteskala (Abbildung 6.3c)
4. Resultat mit 5 multiplizieren
 \Rightarrow kontinuierliche, exponentielle Werteskala zwischen 5 und 0 (Abbildung 6.3d)

Nun sollte der ganze Raster noch mit einem Minimalwert ergänzt werden, da immer eine Wahrscheinlichkeit besteht, dass irgendwo ein menschlich verursachtes Feuer ausbricht und das nicht nur innerhalb der berechneten Distanzen. Diese Wahrscheinlichkeit soll bei 0.1 liegen (relativ klein). Mit Hilfe des **Raster Calculators** und dem **Condition**-Befehl werden die kleinsten Werte sowie die Rasterfelder ohne Daten auf 0.1 gesetzt.

6.2.2 Anwendung der Distanzberechnungen

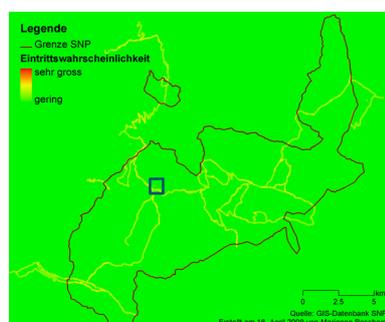
Wanderwege, Rastplätze, Informationstafeln und Lichtungen

Die Gefahr eines anthropogenen Feuers ist direkt bei den Wegen am höchsten. Je weiter davon entfernt, desto geringer wird sie.

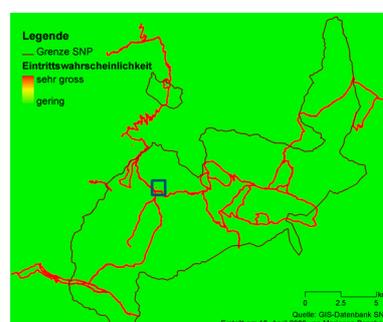
An Waldrändern oder Lichtungen, wo sich dem Wanderer oft ein faszinierender Blick in die Umgebung eröffnet, wird oftmals eine kurze Pause eingeschaltet. Die Landschaft genießen, eine kleine Stärkung zu sich nehmen und sich eine Zigarette gönnen, ist an solchen

Orten besonders attraktiv. Diese Überlegungen führten dazu, dass an Schnittpunkten von Wäldern und Wegen Stopps mit Hilfe von Fixpunkten modelliert wurden, um die dortige erhöhte Gefahr aufzuzeigen.

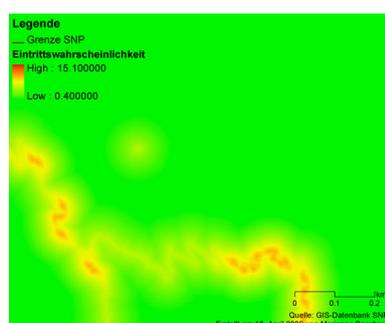
Ähnliches Gefahrenpotential weisen die Rastplätze und Informationstafeln auf. Um dies in einem Kartenmodell umzusetzen, fand hier ebenfalls die exponentielle Distanzberechnung – wie oben beschrieben – Anwendung.



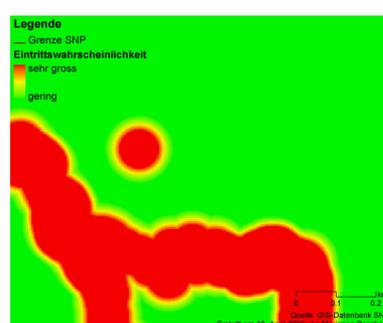
(a) Lineare Darstellung (siehe hierzu 8.1)



(b) Darstellung mit Standardabweichung (siehe hierzu 8.1)



(c) Ausschnitt mit linearer Darstellung (siehe hierzu 8.1)



(d) Ausschnitt mit Standardabweichung (siehe hierzu 8.1)

Abbildung 6.4: Modellierung der Distanzberechnungen bei Wanderwegen, Rastplätzen, Lichtungen und Informationstafeln mit unterschiedlichen Darstellungsarten der Werteskala

Hauptstrasse

Die Ofenpassstrasse, die über Zernez ins Val Müstair führt, durchquert einen grossen Teil des SNPs. Diese Nationalstrasse muss ganzjährig befahrbar sein, da sie die Hauptverbindungsachse ins Val Müstair ist. Zudem ist sie auch der verkehrstechnische Anschluss des SNPs ans Strassennetz der Schweiz. Trotz der Wichtigkeit dieser Strasse birgt sie auch grosse Gefahren für Flora und Fauna. Damit z.B. das Wild durch die Verkehrsteilnehmer früher und besser gesehen werden kann, wurde eine Waldschneise auf beiden Seiten der Strasse errichtet. Dadurch verringert sich die Gefahr eines Zusammenpralls zwischen dem Wild und dem Strassenverkehr (Bott 2009, mündliche Quelle). Des Weiteren dient diese Schneise auch als Vorbeugung eines anthropogenen Feuers. Glimmende Zigaretten

oder Glasabfall, welche aus dem Auto hinausgeworfen werden, können die Zündung eines Feuers in diesem trockenen Gebiet verursachen (Filli 2009, mündliche Quelle). Die dort gerodeten und dann gehäckselten Bäume wurden bei der Erstellung der Schneise in die Strassengräben neben der Hauptstrasse geworfen. Somit konnte die Gefahr eines Feuers nur mässig minimiert werden (Bott 2009, mündliche Quelle).

Aus dem Auto geworfene Gläser oder Zigarettenstummel stellen die grösste Gefahr dar. Dafür vermeiden die vielen Parkmöglichkeiten entlang der Nationalstrasse, dass die Verkehrsteilnehmer willkürlich an den Strassenrändern stoppen.

Aus diesen Gründen wird für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers eine Distanzberechnung mit einer Distanz zur Strasse von 20 Meter verwendet.

Parkplätze, Bushaltestellen und Unterkünfte

Entlang der Ofenpassstrasse im Gebiet des SNPs sind Parkplätze und Bushaltestellen für die Besucher eingerichtet worden. Diese Orte gelten als Ausgangs- oder Treffpunkte für Wanderungen im SNP. Durch die dortige Konzentration von Besuchern erhöht sich die Gefahr eines menschlich verursachten Waldbrandes.

In den Gebieten, wo sich sehr viele Personen aufhalten (Parkplätze, Bushaltestellen, Unterkünfte) wird angenommen, dass beim Verlassen der Infrastruktur weiter in den Wald vorgedrungen wird, als während einer Wanderung. Einerseits wird dies durch die Konzentration der Besucher an diesen Plätzen bedingt, andererseits durch das Fehlen der Baumbestände entlang der Strasse. Aus diesem Grund wurde hier mit den doppelten Distanzen gerechnet, verglichen mit den Distanzen bei den Wanderwegen, Rastplätzen etc.. Die Berechnung erfolgt gleich wie im Kapitel 6.2.1 beschrieben wird.

6.2.3 Teilgebiete

Rundwanderungen sowie leichtere Tageswanderungen sind bevorzugte Routen im SNP. Mitte der 1990er Jahren hatte Ott dies anhand von Besucherzählungen, welche an vier Tagen durchgeführt wurden, untersucht. Dabei wurden an den Zugangswegen Kompletterhebungen vollzogen (Ott 1995). Anhand dieser Zahlen (siehe hierzu das Kapitel C im Anhang) konnten pro Wegabschnitt folgende Werte errechnet werden:

- sichere Mindestfrequentierung im Durchschnitt der vier untersuchten Tage
- plausible Frequentierung im Durchschnitt der vier untersuchten Tage
- Anteil sichere Frequentierung im Durchschnitt der vier untersuchten Tage
- plausible Frequentierung im Minimum der vier untersuchten Tage
- plausible Frequentierung im Maximum der vier untersuchten Tage

Begriffsdefinition

Für das bessere Verständnis der oben erwähnten Begriffe wird hier einen Ausschnitt der Begriffsdefinition aus der Arbeit von Ott (1995) hinzugefügt, sowie im Anhang C seine Daten aufgeführt:

<i>„Frequenz</i>	<i>Der Begriff „Frequenz“ wird in zwei unterschiedlichen Bedeutungen verwendet: „Frequenzen“ bezeichnet einerseits die Anzahl BesucherInnen pro Tag, die ein Teilgebiet des Nationalparks an einem bestimmten Tag oder im Durchschnitt der vier Zähltage besucht haben. „Frequenz“ wird aber auch als Kurzform für die Begehungsfrequenz der Wegabschnitte verwendet (vgl. unten stehende Definitionen).</i>
<i>plausible Frequenz</i>	<i>Frequenz (Anzahl Begehungen) eines Abschnitts des Wanderwegnetzes, wie sie aufgrund der Angaben über den Eintritts- und Austrittsort, die Aufenthaltsdauer und aufgrund von Annahmen über das Wanderverhalten anzunehmen ist. Die plausible Frequenz setzt sich zusammen aus der sicheren Frequenz und einer durch Modellierung festgelegten zusätzlich zu vermutenden Frequenz.</i>
<i>sichere Frequenz</i>	<i>Frequenz (Anzahl Begehungen) eines Abschnitts des Wanderwegnetzes, die durch die Anzahl BesucherInnen bestimmt ist, die den Abschnitt auf ihrer Wanderung vom Eintritts- zum Austrittsort mindestens einmal durchschritten haben müssen. Es handelt sich dabei somit um eine Mindestfrequenz für den entsprechenden Wegabschnitt.“</i> Zitat aus der Masterarbeit von Ott (1995).

Da es während der Erhebung nicht möglich war auch noch das Wanderverhalten aller Besucher zu registrieren, mussten die Zahlen für die plausible Frequentierung errechnet werden. Trotz der Unsicherheiten, die in diesen Zahlen vorhanden sind, wurden sie für diese Arbeit beigezogen. Hätte man die Zahlen der sicheren Mindestfrequentierung genommen, wären einige Wegabschnitte nicht genügend berücksichtigt worden.

In der Arbeit von Ott wurden zur besseren Übersicht die Wegabschnitte pro Teilgebiet zusammengefasst. Diese Zusammenfassung wurde hier übernommen und so die durchschnittliche Frequentierung pro Wegabschnitt über die Teilgebiete berechnet. Val Trupchun wies die höchste Frequentierung pro Tag mit durchschnittlich 213,6 Besuchern pro Wegabschnitt auf. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in der Abbildung 6.5 ersichtlich. Wichtig dabei sind die Verhältnisse der Zahlen und nicht die absoluten Werte, da die totale Besucherzahl heute sicher höher liegt als bei der Erhebung, aber die Relationen wahrscheinlich ähnlich ausfallen.

Anhand dieser Zahlen wurden den Teilgebieten die fünf Gewichtungsstufen zugeteilt. Das Val Trupchun, welches die meisten Besucher an einem Tag verzeichnet, weist die höchste Gefahr betreffend anthropogener Feuer auf. Anspruchsvollere Wanderungen, z.B. durch das Val Müschauns über Val Sassa ins Val Cluozza, weisen hingegen eine sehr niedrige Besucherzahl pro Tag auf und werden daher einer tieferen Gefahrenstufe zugeteilt. Die Einteilung erfolgte nach einer linearen Abstufen. Eine Übersicht der Einteilung ist in der Tabelle 6.2 ersichtlich.

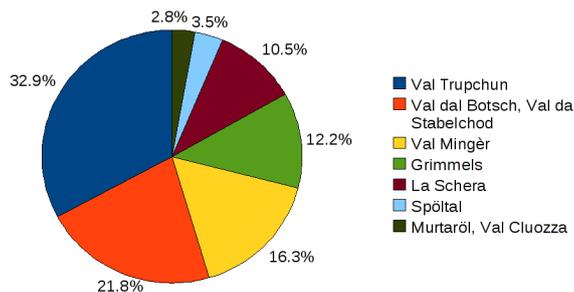


Abbildung 6.5: Frequentierung der Wege in Prozent pro Teilgebiet. Quelle: eigene Darstellung mit Daten von Ott (1995)

Die Modellierung verlief ähnlich wie die Distanzgewichtung. Dabei wurde auch mit exponentiell abfallenden 100 Meter-Puffern zu den Wegen gearbeitet. Je nach Gewichtungsstufe wurde bei der Berechnung eine Skala z.B. von 5 bis 0.1 oder 1 bis 0.1 modelliert. Für jedes Teilgebiet musste zuerst ein eigener Layer erstellt werden. Am Schluss wurden diese mit Hilfe der Addition in einen Layer zusammengeführt und darauf geachtet, dass die tiefsten Werte wieder bei 0.1 liegen.

Macun

Das Fehlen von Macun im Diagramm ist durch das späte Hinzukommen dieses Gebietes zum SNP zu erklären. Die statistische Erhebung wurde in den Jahren 1991 und 1992 durchgeführt. Die Seenplatte von Macun ist erst seit dem 1. August 2000 Bestandteil des SNPs (Robin 2004, S. 112). Die Wanderung von Zernez über Macun bis zum Bahnhof Lavin dauert etwa 8 Stunden, wobei über 2'800 Höhenmeter bewältigt werden müssen (Robin 2004, S. 112). Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass dieses Teilgebiet ähnlich oder sogar weniger durchwandert wird, als das Val Sassa / Val Cluozza (Wanderzeit ca. 7,5 h und knapp 2'000 Meter Höhendifferenz) und daher wird Macun die gleiche Gewichtung wie dem Val Sassa (Stufe 1) zugeteilt. Dies obwohl das Gebiet Macun keine Wälder aufweist. Der Vollständigkeitshalber wurde es aber hinzugefügt.

Stufe 5	sehr hohe Eintrittswahrscheinlichkeit	Val Trupchun
Stufe 4	hohe Eintrittswahrscheinlichkeit	Val dal Botsch und Val da Stabelchod
Stufe 3	erhebliche Eintrittswahrscheinlichkeit	Val Mingèr und Grimmels
Stufe 2	mässige Eintrittswahrscheinlichkeit	Alp la Schera
Stufe 1	geringe Eintrittswahrscheinlichkeit	Murtaröl, Val Cluozza, Val Spöl und Macun

Tabelle 6.2: Einteilung der Teilgebiete in die verschiedenen Stufen der Eintrittswahrscheinlichkeit

6.2.4 Exposition

Für die Auswertung der Exposition wurde die Studie von Langhart beigezogen (siehe auch Abschnitt 4.2.2). Sie hat bei der Analyse von potentiellen Standorten für menschlich

verursachten Waldbrand herausgefunden, dass eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit eines Feuers an Südost- bis Westhängen zu verzeichnen ist. An Nordwest- und Osthängen besteht eine mittlere Wahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers. Kaum Brände wurden an Nord- und Nordosthängen sowie auf ebenen Flächen vorgefunden (siehe Abbildung 6.6a) (Langhart 1999, S. 103).

In dieser Arbeit wird mit fünf Stufen gearbeitet. Langhart hat in ihrer Auswertung jeweils drei Unterteilungen vorgenommen. Damit sich die Gefahrensituation nicht gleich um ‚zwei Stufen‘ erhöht, sobald die Exposition geändert wird, werden in die Skala von Langhart Zwischenstufen eingebaut, die die Übergänge der Gefahrenstufen etwas glätten sollen (siehe Abbildung 6.6b).

Zuerst wurde die Einteilung von Langhart vorgenommen, bevor die Zwischenstufen eingeschoben wurden. Für die Kalkulation der effektiven Zahlen nach Langhart wurden zuerst die 360° in 16 gleiche Teile à $22,5^\circ$ unterteilt. Der ‚Osten‘ wurde wie folgt berechnet: Osten liegt bei 90° und ist der Stufe 3 zugeteilt. Hingegen ist der Südosten (135°) der Stufe 5 zugeordnet. Die Abgrenzung wurde in der Mitte dieser zwei Werte gezogen, d.h. bei $112,5^\circ$. Anhand dieser Überlegungen wurden alle Expositionen, welche Langhart einer Gefahrenstufe zugeteilt hat, numerisch unterteilt (siehe Abbildung 6.6a). Jetzt wurden die Zwischenstufen berechnet und eingeschoben. Dabei wurde darauf geachtet, dass Stufe 2 und 4 den Übergangsbereich zwischen Stufe 1 und 3 sowie 3 und 5 abdecken (siehe Abbildung 6.6b).

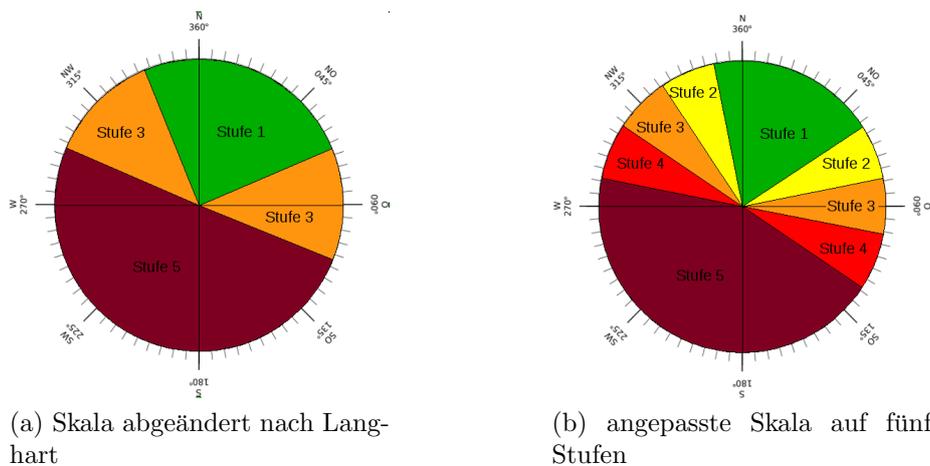


Abbildung 6.6: Berechnung der Exposition. Quelle: abgeändert nach Langhart (1999, S. 103)

6.2.5 Waldgesellschaften

Obwohl wahrscheinlich nicht darauf geachtet wird, in welcher Waldgesellschaft sich ein Besucher befindet, wenn er eine Unvorsichtigkeit (Rauchen, Zündeln, Liegen lassen von Glas etc.) begeht, wurden trotzdem die Waldgesellschaften bei der Gewichtung mitberücksichtigt. Grund dafür sind vor allem die unterschiedlichen Feuchteverhältnisse und Brenneigenschaften, die die Wälder aufweisen. ähnlich wie bei natürlich verursachten Feuern (z.B.

durch Blitz) stehen Legföhren schneller in Flammen als Fichten und das Feuer kann sich schneller ausbreiten. Aus diesem Grund wurde die selbe Gewichtung der Waldgesellschaften genommen (Tabelle 6.1), wie für die Modellierung dieser bei natürlich verursachten Feuern (siehe hierzu Abschnitt 6.1.1).

6.2.6 Gewichtung der Layer

Einige der oben erwähnten Faktoren (Layer) stellen eine höhere Gefahr betreffend eines anthropogenen Feuers dar, als andere. Beispielsweise ist die Eintrittswahrscheinlichkeit an verkehrstechnischen Knotenpunkten, wo sich viele Besucher aufhalten, höher, als an Rastplätzen oder Wegabschnitten, wo seltener Menschen anzutreffen sind. Aus diesem Grund wurde, zusätzlich zu den bereits erstellten Abstufungen innerhalb der einzelnen Layer, eine Gewichtung der Layer in die Gesamtberechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Waldbrandes eingeführt. Diese Gewichtung wird in der Übersichtstabelle 6.4 in der Spalte Gewichtung aufgezeigt sowie in der Tabelle 6.3 zusammengefasst. Die Gewichtung wird am Schluss bei der Addition der unterschiedlichen Layer berücksichtigt und hat keinen Bezug zu der bereits vorgenommenen Abstufung (Gewichtung) auf den einzelnen Layern.

Bei der Gewichtung der verschiedenen Layer für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände wurde vor allem die Entscheidungsfreiheit der Besucher berücksichtigt. Die von Langhart (1999, S. 103) herausgefundenen Trends bei der Exposition können in Gebieten, wo der Wanderer seinen Rastplatz selber bestimmen darf, besser nachvollzogen werden. Eine sonnige Feuerstelle ist angenehmer als seine Wurst auf der feuchten, schattigen Nordseite über die Flammen zu halten. Im SNP sind die Rastplätze jedoch vorgegeben. Zigaretten hingegen oder ein kleiner Schluck aus der Flasche zur Stärkung werden meistens unabhängig von der Exposition genossen. Trotzdem erhöht sich die Wahrscheinlichkeit und die Haltezeit an sonnigeren Plätzen ein wenig. Somit wurden die Resultate betreffend Exposition aus der Studie von Langhart miteinbezogen, aber schwach gewichtet.

Ähnlich wird mit der Gewichtung der Waldgesellschaften umgegangen: Dass unterschiedliche Wälder unterschiedliche Feuerverhalten aufweisen, ist nachgewiesen. Der Faktor Mensch und sein Verhalten ist aber bei der Ermittlung von anthropogenen Feuern wichtiger einzustufen als die Waldgesellschaften. Aus diesem Grund wurden die Wanderwege, die Rastplätze sowie die Flächen um die Informationstafeln herum als Ausgangswert betrachtet und die Waldgesellschaften erhalten nur die halbe Gewichtung.

Stark gewichtet wurden hingegen Plätze, wo sich viele Personen aufhalten, wie dies auf den Parkplätzen oder rund um die Unterkünfte der Fall ist. Zudem wird die Aussage von Herrn Bott, dass die Hauptstrasse als sehr gefährlich eingestuft wird, mitberücksichtigt (Bott 2009, mündliche Quelle). Auch wird die Berechnung der Wegfrequentierung, welche anhand der Arbeit von Ott (Ott 1995) erarbeitet wurde, höher gewichtet, als die normale Modellierung der ‚distanziellen Gewichtungen‘. Je mehr Personen durch ein Gebiet wandern, umso höher ist die Gefahr eines anthropogenen Feuers. Aus diesem Grund sind diese Informationen sehr wichtig und daher hoch zu gewichten.

Gewichtung Objekte

2	Hauptstrasse, Parkplätze, Bushaltestellen, Unterkünfte sowie Teilgebiete
1	Wege, Rastplätze und Informationstafeln
0.5	Exposition und Waldgesellschaften

Tabelle 6.3: Aufzeigen der Gewichtung der einzelnen Layer für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände

6.2.7 Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Wie bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Feuern werden auch hier die verschiedenen Layer addiert. Dabei wird einerseits der oben diskutierten Gewichtung der einzelnen Layern Beachtung geschenkt (siehe Abbildung 8.4), zum Vergleich wird andererseits die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Feuer ohne Gewichtung der Layer vorgenommen (siehe Abbildung 8.5). Die Abstufungen auf den einzelnen Layer (Stufe 5–0) werden dabei nicht verändert.

Objekte	Modellierungs- schwerpunkt	Gewich- tung	Distanz- puffer	Skala / Stufen
Wanderwege	Distanzgewichtung	1	100 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Rastplätze	Distanzgewichtung	1	100 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Informationstafeln	Distanzgewichtung	1	100 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Weglichtungen	Distanzgewichtung	1	100 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Hauptstrasse	Distanzgewichtung	2	20 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Unterkuñfte	Distanzgewichtung	2	200 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Parkplätze	Distanzgewichtung	2	200 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Bushaltestellen	Distanzgewichtung	2	200 Meter	exponentiell abnehmende Abstufung von 5-0
Teilgebiete	Wegfrequenzierung nach M. Ott	2	100 Meter	Val Trupplun = Stufe 5 Val dal Botsch und Val da Stabelhod = Stufe 4 Val Mingèr und Grimmel = Stufe 3 Alp la Schera = Stufe 2 Murtaröl, Val Chozza, Val Spöl und Macum = Stufe 1
Exposition	abgeändert nach R. Langhart	0.5		123,75°-281,25° = Stufe 5 101,25°-123,75° und 281,25°-303,75° = Stufe 4 78,75°-101,25° und 303,75°-326,25° = Stufe 3 56,25°-78,75° und 326,25°-348,75° = Stufe 2 0,00°-56,25° und 348,75°-360,00° = Stufe 1
Wälder	Waldgesellschaften	0.5		Legföhrenwälder = Stufe 5 Bergföhrenwälder = Stufe 4 Fichtenwälder = Stufe 3 Mischwälder = Stufe 1

Tabelle 6.4: Übersicht der Faktoren für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers. Quelle: eigene Zusammenstellung

Kapitel 7

Experteninterviews

7.1 Was sind Experteninterviews?

Experteninterviews sind eine spezifische Form qualitativer Interviews und sind sozial komplexe Interaktionen. Sie unterscheiden sich von anderen Befragungsmethoden in der Gesprächsführung sowie auch in der Auswertung. Der Fokus liegt hierbei auf dem Erkenntnisinteresse und der Befragtengruppe, was sich in der Interviewsituation und der Gesprächsführung widerspiegelt (Bogner, Littig & Menz 2005, S. 175).

Experten sind oftmals gut ausgebildete und statusbewusste Personen. Sie müssen aber nicht spezifisch der ‚Elite‘ angehören, sondern zeichnen sich durch ein besonderes Wissen im gefragten Fachgebiet aus. Dabei können drei zentrale Dimensionen des Expertenwissens bestimmt werden, welche einem für die Erarbeitung und Durchführung der Interviews bewusst sein müssen. Zum einen können Experten nach ihrem **technischen Wissen** ausgefragt werden, welche sich durch die Verstellbarkeit und Verfügung über Operationen und Regelabläufe, fachspezifische Anwendungsroutinen etc. auszeichnen. Daneben können Experteninterviews auf das **Prozesswissen** der Befragten fokussiert werden. Dabei sind vor allem Einsichtnahmen und Informationen über Handlungsabläufe, Interaktionsroutinen, organisationale Konstellationen sowie vergangene oder aktuelle Ereignisse von Interesse. Zum Dritten können Informationen bezüglich subjektiver Relevanz, Regeln, Sichtweisen und Interpretationen gefragt sein. Solche theoriegenerierende Experteninterviews zielen auf die Erhebung von **Deutungswissen** ab (Bogner et al. 2005, S. 43+175).

In den für diese Arbeit durchgeführten Experteninterviews wurde vor allem auf das Deutungswissen der Experten fokussiert.

7.2 Schwierigkeiten bei Experteninterviews

Der Interviewer soll als teilnehmende und dabei anregend-passive Person die Experten zum Erzählen auffordern. Trotzdem erhält der Interviewer bedeutungsstrukturierte Daten im Allgemeinen nur, wenn er eine Kommunikationsbeziehung mit dem Experten eingeht. Dabei erfordert die Gesprächssituation Offenheit, Exploration und Flexibilität. Der Interviewpartner kann auch Gegenfragen stellen, Kommentare abgeben oder den Interviewer über seine Position ausfragen. Dabei sollte der Interviewer offen reagieren und

bei schwierigen Äußerungen wohlwollendes Interesse zeigen (z.B. bei politischen Äußerungen) (Bogner et al. 2005, S. 177).

Zudem kann die Wahrnehmung des Interviewers durch den Experten das Gespräch sehr prägen. Wird der Interviewer als Co-Experte eingeschätzt, so wird er als gleichberechtigter Partner angesehen, mit dem Wissen ausgetauscht und auf gemeinsame Vorkenntnisse zurückgegriffen werden kann. Oftmals gleicht diese Befragung einer Diskussion unter Experten, mit Rück- und Gegenfragen. Dabei muss beachtet werden, dass sich die Situation nicht wendet, so dass der Experte auf einmal das Gespräch leitet und dadurch wenig von seinem Wissen preisgibt (Bogner et al. 2005, S. 50–51).

Im Gegensatz hierzu kann der Experte den Interviewer als Laien einschätzen, was oftmals als sehr negativ bewertet wird, da der Experte dem Interviewer die Sachverhalte erklärt, aber das Gespräch sehr einseitig verläuft und kaum Interaktionen bietet. Entsteht dabei ein Monolog, spüren viele Experten das Bedürfnis die wichtigsten Informationen weiterzugeben, aber das Gespräch rasch möglichst zu beenden. Ist aber der Experte bereit den Status des Interviewers als Laien anzuerkennen und sein Wissen zu teilen, können Fragen gestellt werden, die ansonsten den Status des Interviewers gefährden könnten. Diese neu gewonnene Freiheit kann dazu führen, dass der Interviewer zu Informationen gelangt, zu denen er sonst keinen Zugang hätte. Dies nicht zuletzt deshalb, weil oftmals als naiv eingeschätzte Interviewer als vertrauenswürdig angesehen werden (Bogner et al. 2005, S. 54–56).

Die hier aufgegriffene Problematik bezüglich des Laienstatus des Interviewers traf während der Gespräche nicht ein. Vielmehr kam es zu interessantem Informationsaustausch, bei dem auch die Experten zum Nachdenken angeregt wurden.

7.3 Ziele der Experteninterviews

Wie können die Auswirkungen eines Feuers im SNP auf Flora, Fauna und Boden, aber auch auf die Infrastruktur beurteilt werden, wenn kaum Erfahrungswerte vorhanden sind? Diese Frage ist nicht ganz trivial zu beantworten, da sehr viele unterschiedliche Aspekte und Ansichten miteinbezogen werden müssen. Es ist nicht möglich, alle in Frage kommenden Experten zu diesem Thema zu identifizieren und zu befragen.

Die Auswirkungen eines Waldbrandes auf jede Pflanze und jedes Tier zu überprüfen, ist nicht umsetzbar. Studien, welche in der Einführung vorgestellt wurden, fokussieren ihren Blick aus diesem Grund auf einen kleinen Teil des Ökosystems. Zudem unterliegt die Natur Veränderungen, die von Ort zu Ort und von Störung zu Störung unterschiedlich ausfallen können.

Mit den Experteninterviews soll aber ein Einblick in die möglichen Auswirkungen gewonnen werden. Zu jedem Teilgebiet (Flora, Fauna, Boden und Infrastruktur) wurden Personen befragt, so dass ein Überblick über das ganze Spektrum gewährleistet ist. Bei der Befragung wird der Fokus auf die Auswirkungen von Feuern sowie das Finden von möglichen räumlichen Strukturen gelegt.

Die aus den Gesprächen geschöpften Informationen werden mit Hilfe von Karten dargestellt und diskutiert. Gebiete, welche in den Interviews als besonders gefährdet oder auch als Profiteure ausgewiesen wurden, werden in gesonderten Karten festgehalten. Eine

Gefährdung kann für Flora oder Fauna eintreten, wenn ein Waldbrand sie eliminieren kann. Auch Sekundäreffekte nach einem Brand (z.B. erhöhte Lawinengefahr, wenn der Schutzwald fehlt) können Gefährdungen sein. Profitieren hingegen die Flora oder die Fauna von einem Feuer, indem beispielsweise neue Lebensräume entstehen, soll auch diese in die Untersuchung miteinbezogen werden. Je nach Konsequenzen werden die einzelnen ausgewiesenen Gebiete unterschiedlich gewichtet.

Gesamthaft konnten zwölf Experten befragt werden. Die Interviews verliefen meistens in einem persönlichen Gespräch. An einem Interview nahmen zwei Experten zum selben Thema teil. Dadurch entstanden immer wieder kleinere spannende Diskussionen unter den Experten, was sehr aufschlussreich war. Bei einem Interview wurde der Fragebogen schriftlich ausgefüllt, da wegen Krankheit und Terminkollisionen kein Treffen vereinbart werden konnte.

Die Resultate der Interviews sind im Kapitel 9 zusammengefasst.

Teil IV

Resultate

Kapitel 8

Eintrittswahrscheinlichkeit

8.1 Darstellungsmöglichkeiten der Resultate

In dieser Arbeit wird vorzugsweise mit Karten gearbeitet. Diese gehören zu den bekannten und bevorzugten Arten räumliche Daten zu präsentieren. Sie können, wie auch andere Darstellungsformen (z.B. Histogramme), irreführend und manipulativ sein, indem z.B. die Werteskala ohne das Wissen des Betrachters verändert oder wichtige Daten nicht aufgeführt werden (Monmonier 1991).

Die Darstellungsart kontinuierlicher Datenwerte innerhalb des Werteintervalls kann variieren. Mit der hier verwendeten Software ArcGIS sind unterschiedliche Darstellungen kontinuierlicher Datenwerte möglich. In dieser Arbeit werden zwei Varianten verwendet:

Lineare Darstellungsform: Eine lineare Darstellungsart zeigt die Datenwerte ohne jegliche Dehnung oder Stauchung vom minimalen bis zum maximalen Wert an. Sie bietet gute Vergleichsmöglichkeiten der Daten innerhalb einer Karte, da sie gleichmässig abgestuft sind (siehe Abbildung 8.2a).

Darstellung ‚Standard Deviations‘: Meist sind die Daten, welche dargestellt werden sollen, nicht gleichmässig über den Wertebereich gestreut, sondern weisen ein charakteristisches Verteilungsmuster auf. In der Abbildung 8.2a liegen die relevanten Daten in der ersten Hälfte des Wertebereichs. Mit der Darstellungsart **Standard Deviations** wird dieser interessante Wertebereich gestreckt (siehe Abbildung 8.2b). Die am häufigsten vorkommenden Datenwerte werden so differenzierter dargestellt; der Vergleich zwischen den Daten wird jedoch erschwert. Werte, welche ausserhalb des gestreckten Datenbereichs liegen, werden auf einen Wert reduziert.

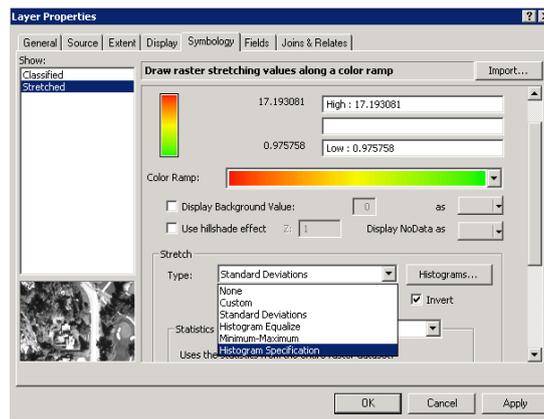
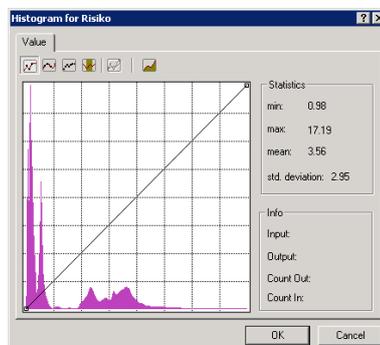
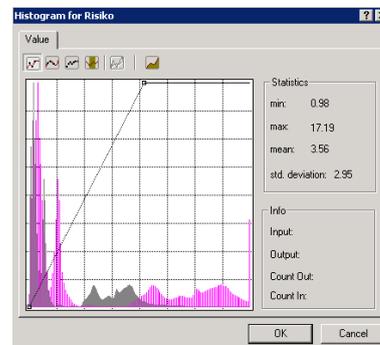


Abbildung 8.1: Fenster in ARCGIS, wo die Darstellungsmöglichkeit der Datenwerte verändert werden kann.



(a) Histogramm ohne Änderung der Datendarstellung (linearer Darstellung)



(b) Streckung des Histogramms mit **Standard Deviations**

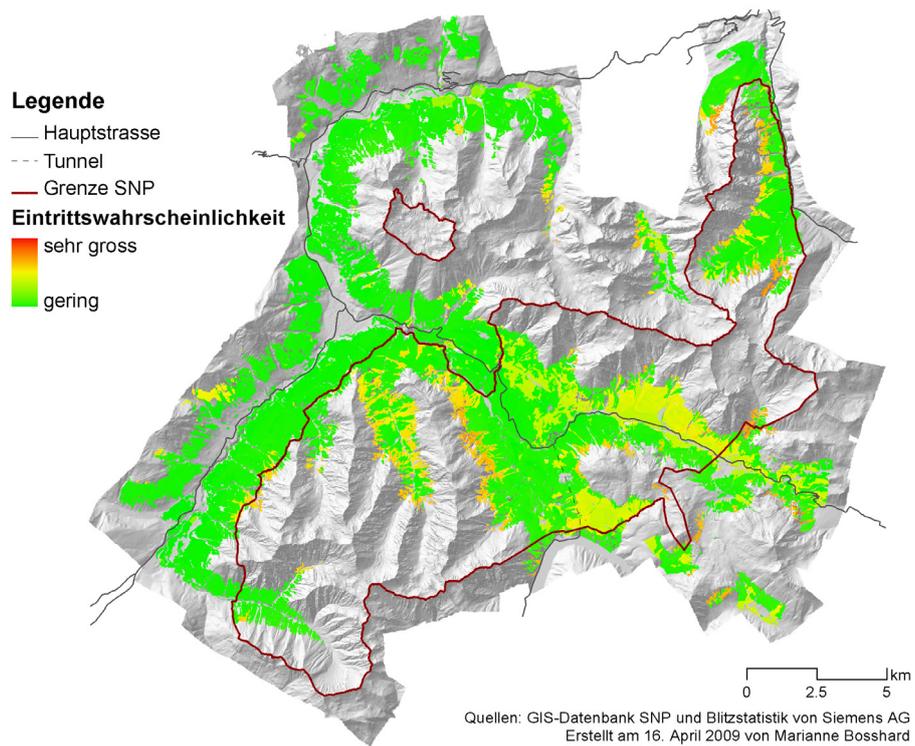
Abbildung 8.2: Beispiele der Datenhistogramme mit der Möglichkeit der Datenstreckung.

8.2 Natürlich verursachte Waldbrände

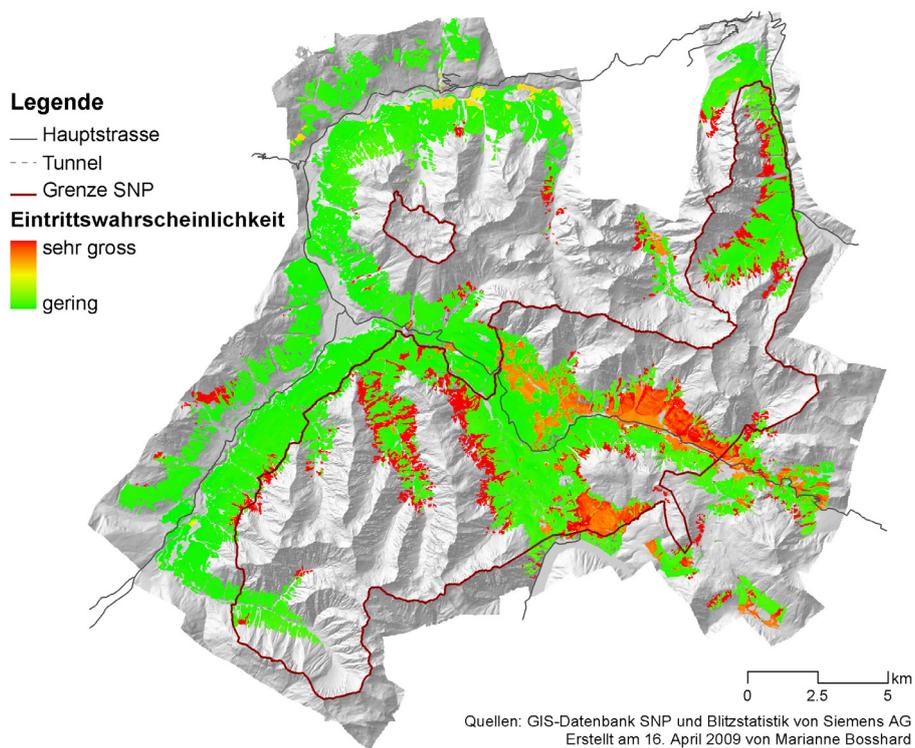
Für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Waldbränden wurde auf zwei Grunddaten zurückgegriffen: Die Blitzhäufigkeiten und die Waldgesellschaften. Diese Daten wurden je auf einem Layer verarbeitet. Die dabei entstandenen Werteskalen wurden normiert: Von 0 bis 5 bei kontinuierlichen Daten (Blitzstatistik) und von 1 bis 5 bei klassifizierten Daten (Waldgesellschaften), bevor die Layer mit Hilfe des **Raster Calculators** addiert wurden. Wären die Layer miteinander multipliziert worden, wären Datenwerte >1 über- und Werte <1 unterbewertet worden. Mit der Addition konnte dies vermieden werden.

Eine Gewichtung der Layer fand nicht statt, da keine Argumente dafür sprechen. Beide Faktoren, die Blitzhäufigkeiten und die Waldgesellschaften, sind wichtige Parameter bei der Berechnung natürlich verursachter Waldbrände.

Wie am Anfang dieses Kapitels beschrieben, werden die Resultate anhand zweier Darstellungsarten aufgezeigt. Auf den beiden Karten (Abbildungen 8.3a und 8.3b) sind die



(a) Lineare Darstellung



(b) Darstellung mit Hilfe der Standardabweichung

Abbildung 8.3: Resultat der Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit natürlich verursachter Waldbrände

erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeiten eines natürlich verursachten Waldbrandes an den oberen Waldrändern gut ersichtlich. Auch die leicht entzündbaren Bergföhrenwälder auf der Südseite der Ofenpassstrasse weisen eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit auf. Die konzentrierte Blitzhäufigkeit in den südlich liegenden Bergen des SNPs ist vor allem in der Abbildung 8.3b bei den Bergföhrenwäldern erkennbar. Je südlicher diese Wälder liegen, umso grösser ist die Wahrscheinlichkeit der Entstehung eines Feuers.

8.3 Anthropogene Waldbrände

Die Erarbeitung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände war komplexer, als die von natürlich verursachten Waldbränden, da es mehr Faktoren zu berücksichtigen galt. Zudem war die Bearbeitung der einzelnen Layer zeitintensiver und mehr persönliche Erfahrungswerte flossen mit ein. Die genaue Vorgehensweise wird im Abschnitt 6.2 erläutert.

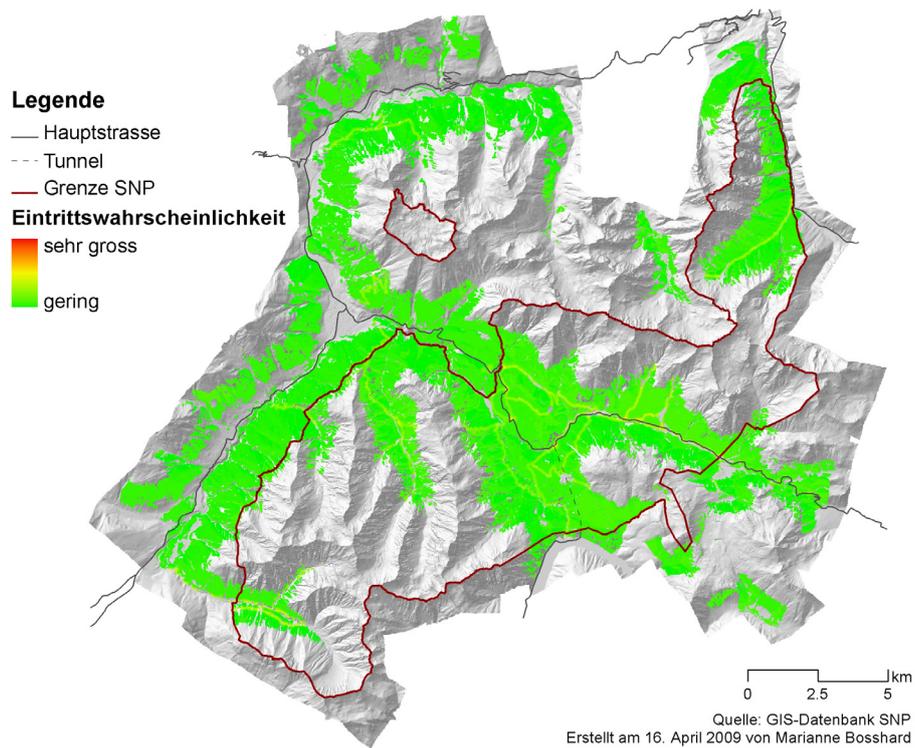
Wie bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Waldbränden wurden auch hier die unterschiedlichen Layer miteinander addiert und nicht multipliziert, da eine Über- resp. Unterbewertung sehr hoher und sehr tiefer Werte vermieden werden sollte (siehe auch Abschnitt 8.2).

Eine Möglichkeit die verschiedenen Layer zu gewichten, wurde im Abschnitt 6.2 erläutert. Das Resultat ist in Abbildung 8.4 zu sehen. Als Gegenüberstellung zu der gewichteten Variante wurden die erarbeiteten Layer ohne Gewichtung miteinander verrechnet (Abbildung 8.5).

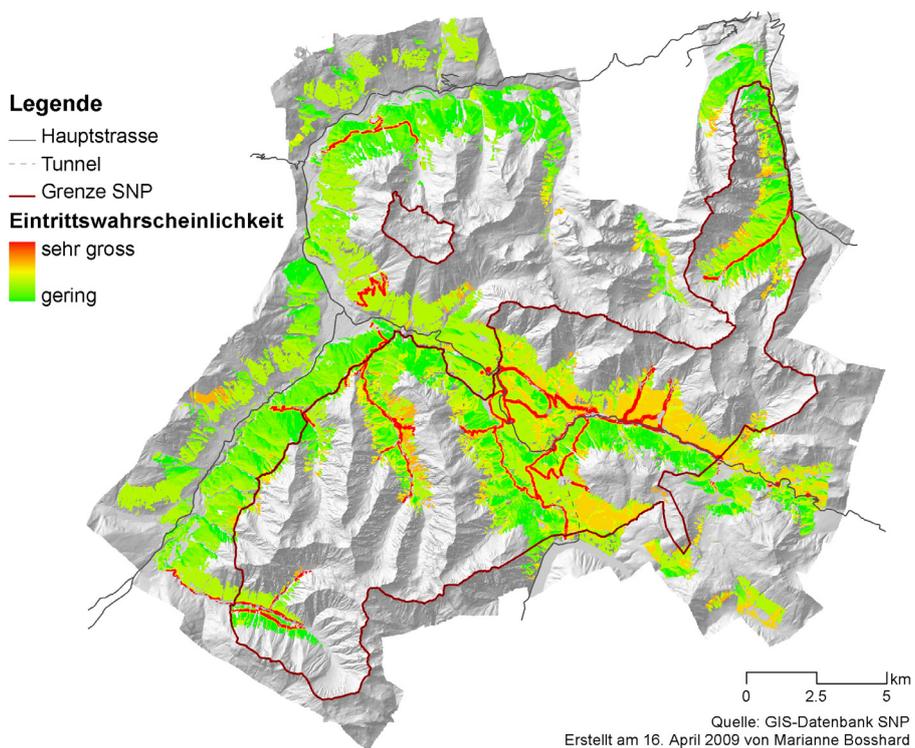
Die meisten Daten, welche für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände beigezogen wurden, stammen aus Linien- oder Punktdatensätzen (Vektordaten: z.B. Wege, Strassen, Parkplätze, Rastplätze etc.). Nur die Datensätze ‚Exposition‘ und ‚Waldgesellschaften‘ wiesen von Anfang an einen flächenhaften Charakter auf (Rasterdatensätze). Da die Waldgesellschaften und Exposition wenig gewichtet werden, kommen sie bei der ungewichteten Variante besser zur Geltung. Die Ausweisung grosser Flächen mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit ist die Folge. Ihre niedrige Gewichtung äussert sich zudem auch in der stärkeren Hervorhebung der Vektordaten (Wege, Strassen etc.) in der gewichteten Version. Dennoch ist in beiden Resultaten das erhöhte Gefahrenpotential um die Wanderwege, Strassen und Unterkünfte klar ersichtlich.

Auf den Karten 8.4 und 8.5 kann die nicht lineare Verteilung (hier L-Verteilung¹) der Daten gut erkannt werden. Nur wenige Punkte weisen sehr hohe Werte auf und werden in der ‚linearen Darstellungsform‘ rot ausgewiesen (Abbildungen 8.4a und 8.5a). In den Abbildungen 8.4b und 8.5b wird die Datenskala im vorgegebenen Intervall so gestreckt, dass eine bessere Verteilung resultiert und dadurch Unterschiede in den Wertebereichen mit einer hohen Anzahl an Werten besser zur Geltung kommen. Potentiell gefährdete Stellen werden dadurch stärker hervorgehoben.

¹Eine L-Verteilung der Daten ist eine unimodale und linkssteile Datenverteilung, deren Gipfel am linken Ende des Wertebereichs liegt (Bahrenberg, Giese & Nipper 1999, S. 37).

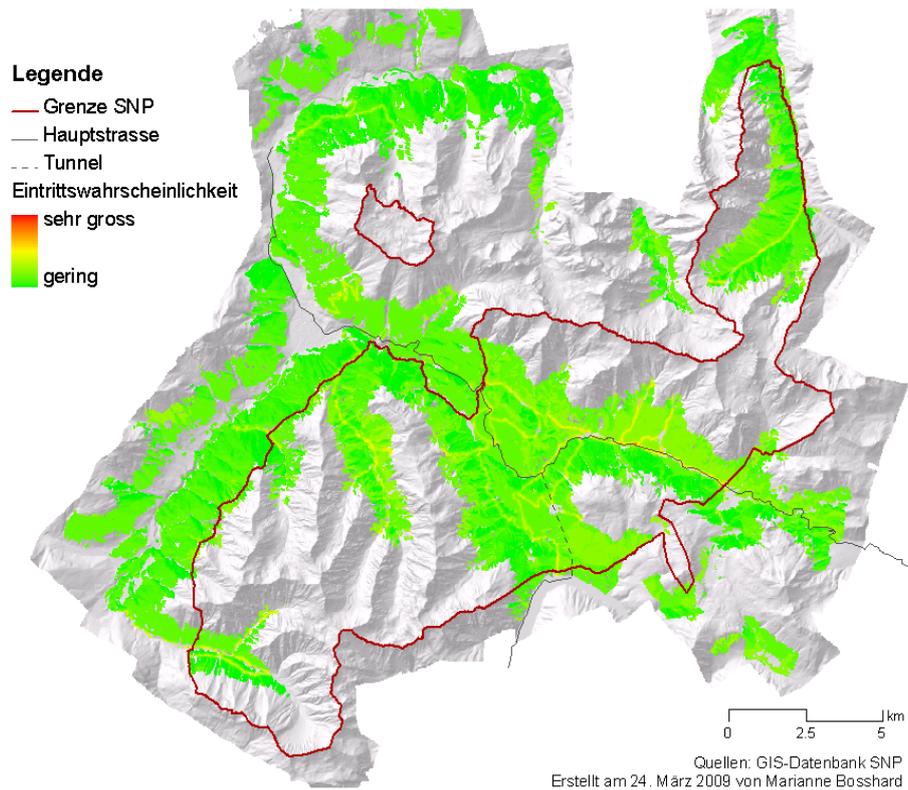


(a) Lineare Darstellung

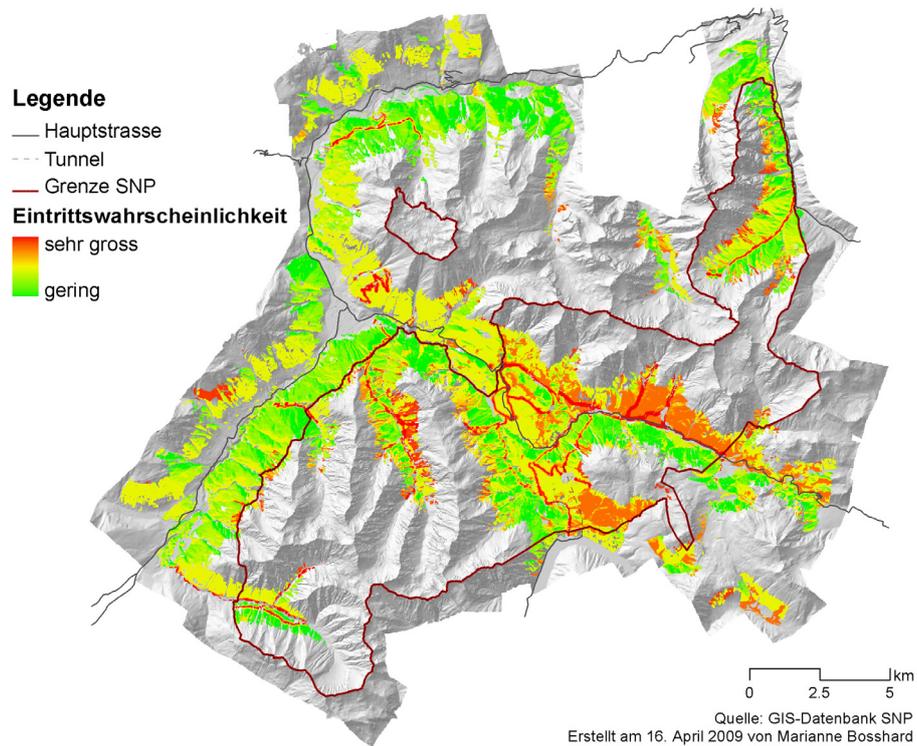


(b) Darstellung mit Hilfe der Standardabweichung

Abbildung 8.4: Resultate der Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände (gewichtet).



(a) Lineare Darstellung



(b) Darstellung mit Hilfe der Standardabweichung

Abbildung 8.5: Resultate der Berechnungen der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände (ungewichtet).

Kapitel 9

Resultate der Experteninterviews

Im Kapitel 7 wurde kurz in die Theorie der Experteninterviews eingeführt, bevor auf deren Verwendung in dieser Arbeit eingegangen wurde. Gesamthaft wurden 13 Experten angefragt, mit Zwölf durfte ein Interview durchgeführt werden (siehe Tabelle A.1 im Anhang). Die meisten Interviews waren Einzelgespräche, bei einem waren zwei Experten gleichzeitig anwesend und ein Interview wurde schriftlich geführt.

An Spannung fehlte es in den Gesprächen nicht, doch stellten die meisten Experten fest, dass sie eine geringe Ahnung betreffend der spezifischen Auswirkungen eines Waldbrandes auf Flora, Fauna oder die Infrastruktur im SNP haben und somit Forschungsbedarf besteht. Erfahrungen aus Bränden und theoretischen Überlegungen wurden diskutiert und auf den SNP übertragen. Trotzdem konnten die Fragen der Auswirkungen nicht vollständig beantwortet werden. Dadurch wurden einige Experten verunsichert, andere sahen darin Perspektiven und Möglichkeiten für neue Untersuchungen.

9.1 Auswirkungen auf die Flora

Dr. Hartmann: Auf der Waldbrandfläche bei Il Fuorn (Brand Frühjahr 1951) werden Dauerbeobachtungen durchgeführt. Die Zuständigkeit hierfür liegt seit einiger Zeit bei Dr. Hartmann, der sich als Experte bezüglich der Flora zur Verfügung gestellt hat. Zusätzliche Studien zu den Auswirkungen von Waldbränden auf die Flora führte er am Zielhang des Waffenplatzes Chur durch. Auch die Untersuchungen der Waldbrandfläche in Leuk (Sommer 2003) hatte er mitverfolgt (Hartmann 2009).

Seiner Ansicht nach kann nicht von positiven oder negativen Auswirkungen auf Flora nach einem Waldbrand gesprochen werden. Je nach Stärke des Feuers fallen die Störungen unterschiedlich aus, was sich wiederum auf die Pioniergesellschaften¹ überträgt. Wie bei Il Fuorn kann es teilweise sehr lange dauern, bis sich eine neue Vegetation etablieren kann. Diese weist dann aber eine sehr hohe Biodiversität auf (Hartmann 2009).

Bei Il Fuorn ist die Störung je nach Ort unterschiedlich stark ausgefallen. Daher weist die ehemalige Brandfläche heute unterschiedliche Vegetationsformen auf: Von Trocken– bis

¹Pioniergesellschaften setzen sich aus Pionierpflanzen zusammen und erstbesiedeln geökologische extrem ausgestattete Standorte. Die Pioniergesellschaften setzen sich unterschiedlich zusammen, was vom Zufall der Ansiedlungsmöglichkeit abhängt (Leser et al. 2001, S. 626).

Fettwiesen ist alles vorhanden. Nach dem Waldbrand in Leuk trat der echte Erdbeerspinat (*Blytum virgatum*) häufig auf, welcher dort vorher aber nicht heimisch war (siehe hierzu Abschnitt 4.1.1). Dr. Hartmann ist sich jedoch nicht sicher, ob das Erscheinen dieser Pionierart in Zusammenhang mit dem vorher stattgefundenen Waldbrand gebracht werden kann. Die Fäberwaid (*Isatis tinctoria L.*) war nach dem Waldbrand in Leuk auch eine der ersten Pflanzen. Diese kam aber, im Gegensatz zum Erdbeerspinat, bereits vorher dort vor. Der Storchenschnabel (*Geranium bohemicum*) wiederum war eine der Pionierarten auf der Brandfläche bei Calanda (Hartmann 2009).

Je nach Ort und Intensität eines Waldbrandes sind die Auswirkungen unterschiedlich und allgemeine Aussagen nicht möglich.

Dr. Schütz: Er wurde 1994 angefragt, ob er die botanische Dauerbeobachtung im SNP fortführen möchte, welche 1970 begann. Dies war der Anfang seiner Beziehung zum SNP. Waldbrände sind für ihn faszinierend und gehören zur natürlichen Dynamik eines Waldes. Die Störungskraft eines Feuers kann viel grösser sein, als zum Beispiel die einer Lawine. Feuer hat die Macht die ganze Vegetation zu zerstören inklusive den Boden. Obwohl sich nach einem Brand schnell Brandmoose ansiedeln, kann es Jahre dauern, bis sich wieder eine richtige Vegetation etablieren kann. In Leuk sind Brandmoose auch nach 5 Jahren immer noch auffindbar (Schütz 2009).

Pappeln, Birken, Arven und Weiden sind Pionierarten, die nach einem Waldbrand die Chance haben sich zu etablieren. Ihre Samen müssen aber zuerst in dieses Gebiet vordringen können. Die Arve kommt im SNP bereits in den Mischwäldern vor, doch die Samen werden von ihrem Hauptvektor, dem Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes*), nicht auf die frisch abgebrannten, offenen Flächen ausgebracht. Zudem besteht die Gefahr, dass die frischen Keimlinge sehr schnell austrocknen. Zwei Wochen ohne Regen sind im SNP keine Seltenheit und bedrohen die Existenz der neuen Pflanzen. Hinzu kommen noch andere Störfaktoren wie zum Beispiel Huftiere, die die jungen Pflanzen fressen und zertreten (Schütz 2009).

Je nach Feuerintensität können unterirdische Pflanzenteile überleben. Diese können sich nach einem Feuer sehr schnell wieder etablieren und es entsteht nach dem Brand eine ähnliche Vegetationsdecke wie zuvor. Wird auch der Boden zerstört, muss die Vegetation von vorne anfangen. Herrn Schütz sind in der Schweiz keine dem Feuer angepasste Pflanzen oder Pflanzen, die sogar auf Feuer angewiesen sind, bekannt, wie diese in Skandinavien oder Nordamerika vorkommen (Schütz 2009).

Wegen der Komplexität der Biosphäre sowie aber auch wegen den Unsicherheiten betreffend der Auswirkungen eines Waldbrandes auf die Flora konnten keine räumlichen Ausscheidungen von Flächen gemacht werden, die bei einem Feuer besonders gefährdet werden oder profitieren könnten. Aus diesem Grund konnte keine Karte erstellt werden und die Informationen fließen nicht in die räumliche Auswertung mitein.

Flechten

Prof. Dr. Scheidegger: Seit seiner Studienzeit faszinieren Prof. Dr. Scheidegger die Flechten im SNP. Ein Waldbrand kann das Habitat der Flechten und sie selbst in Mitleidenschaft ziehen und ihre Existenz gefährden. Erdflechten sind durch eine solche Störung meist weniger betroffen als Baumflechten, da ihr Habitat oft weniger Schaden nimmt und

sie selber meist nicht ganz zerstört werden. Dadurch können sie sich wieder regenerieren. Brennt der Baum auf dem die Flechte nistet, schwindet die Überlebenschance enorm. Doch Feuer fördert unter anderem auch frühe Waldsukzessionsstadien, welche oft von Baumarten bestimmt werden, die in späteren Sukzessionsstadien zurückgedrängt werden und schliesslich ganz verschwinden. Die Flechtenspezialisten, welche sich auf die früheren Baumarten spezialisiert haben, werden so durch Waldbrände gefördert (Scheidegger 2008). Verbrannte Flächen und verkohlte Baumstämme sind für gewisse Flechtenarten sogar bevorzugte Gebiete. Solche Arten können sich nach einem Waldbrand sehr gut regenerieren oder etablieren. Dazu gehören verschiedene Arten, die in der Schweiz selten sind oder sogar als gefährdet gelten (Scheidegger 2008).

Zwei seltene Arten haben sich in der Spölschlucht sowie an den Arven beim Hangfuss um das Gebiet beim Hotel Il Fuorn angesiedelt. Diese zwei speziellen Flechtenarten würden durch einen Waldbrand stark gefährdet werden (Scheidegger 2008).

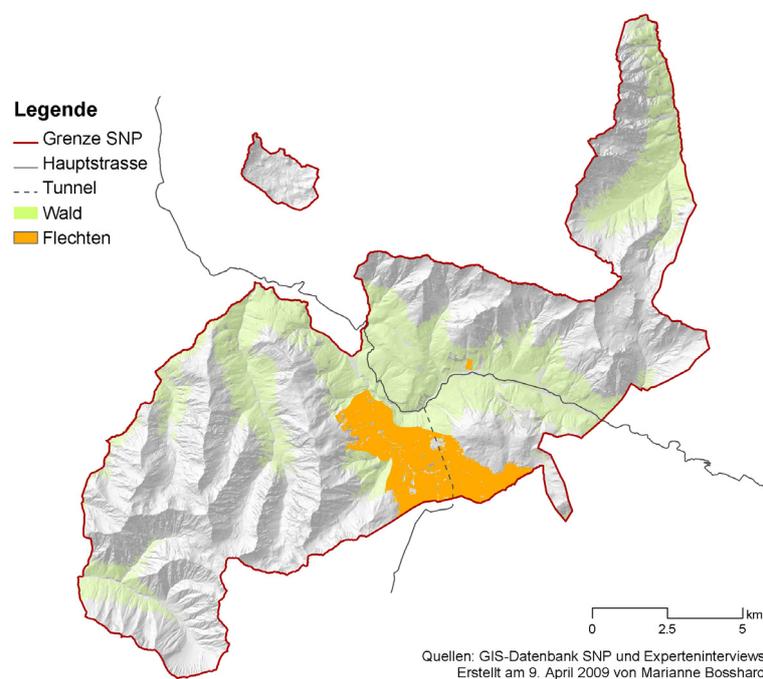


Abbildung 9.1: Vorkommen von seltenen Flechtenarten.

9.2 Auswirkungen auf die Fauna

Prof. Dr. Cherix und Herrn Bernasconi: Beide Herren interessieren sich für Spinnen, Ameisen und andere Insekten und forschen zu diesem Thema seit Jahren im SNP.

Drei bis vier verschiedene Ameisenarten konnten bis anhin im SNP ausfindig gemacht werden. Feuer würde eine neue Dynamik ins Ökosystem hineinbringen: Die neu entstandene Fläche würde zuerst durch eine Ameisenart erobert werden, bis die nächsten Arten kommen und ihre Habitatsansprüche geltend machen würden.

Allgemein muss zwischen verschiedenen Feuerintensitäten, wie aber auch zwischen den Insektenarten sowie deren Habitaten differenziert werden, wenn die Auswirkungen diskutiert werden sollen. Fliegende Insekten können bei einem Feuer meistens fliehen und kehren, je nach nachfolgender Vegetation, relativ rasch wieder ins gleiche Gebiet zurück. Am Boden lebende Arten sind durch ein Feuer viel stärker betroffen und ihre Wiederbesiedlung dauert oft länger. Allgemeine Angaben betreffend der Auswirkungen von Feuer auf die 5'000 Insektenarten, welche im SNP leben, ist nicht möglich. Sicher ist jedoch: Je intensiver ein Feuer wütet, desto grösser ist die Störung und umso länger braucht die Natur, bis sie wieder eine ähnliche Vegetation aufgebaut hat (Cherix & Bernasconi 2009). Im Gegensatz zu den Wäldern, wo die Artenvielfalt relativ klein ist, ist die grösste Diversität an Insektenarten in offenen Wiesen anzutreffen. Ein Feuer auf offener Fläche würde wahrscheinlich mehr Insekten betreffen, als ein Waldbrand. Für die aktuellen Forschungsarbeiten der beiden Experten wäre aber ein Waldbrand vor allem im Val Mingér sehr ungünstig, da die beiden Experten dort kürzlich eine Ameisenart entdeckt haben, die beide Experten bis anhin vermutlich noch nirgendwo sonst gesehen haben (Cherix & Bernasconi 2009).

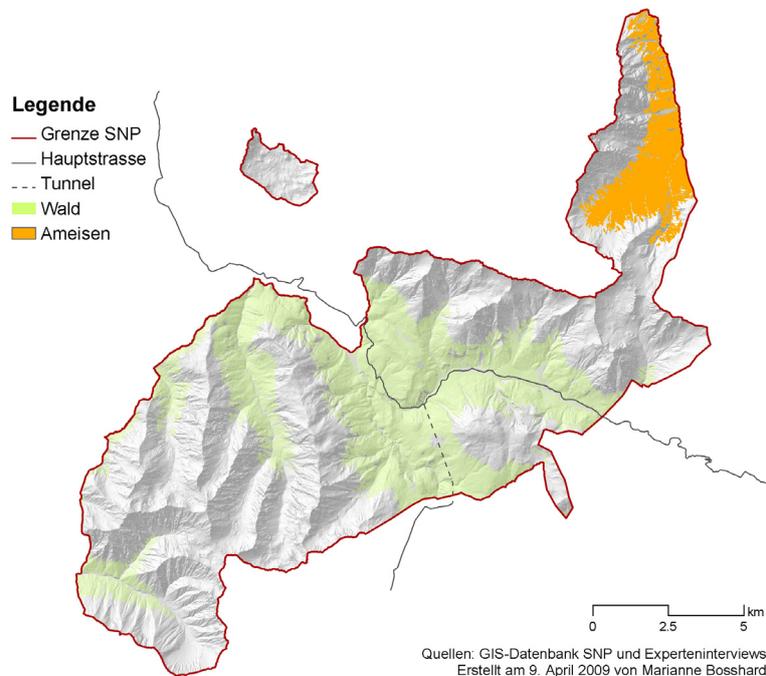


Abbildung 9.2: Entdeckung einer neuen Ameisenart?

Kleinsäuger

Dr. Müller: Er durfte zum Thema mögliche Auswirkungen bei einem Feuer auf Kleinsäuger im SNP befragt werden. Er selbst forscht wenig im SNP, betreut aber immer wieder Studenten, welche ihre Abschlussarbeiten in diesem Gebiet machen. Er kennt den SNP von klein auf und hat durch seine Arbeit als Direktor des Bündner Naturmuseums viel

Kontakt zu den Leuten im SNP (Müller 2009).

In bewirtschafteten Wäldern werden nach dem Holzschlag Asthaufen gebildet, welche gute Nistplätze für Kleinsäuger bilden. Diese treten daher in solchen Wäldern zahlreich auf. Im SNP, wo der Wald nicht bewirtschaftet wird, hat natürlich herumliegendes Holz einen ähnlichen Effekt. Aus Müllers Erfahrung weisen aber die Wälder im SNP weniger Kleinsäuger auf. Wälder mit vielen Strukturen, welche durch kleine Sträucher, herumliegendes Holz etc. entstehen, sind bevorzugte Gebiete für diese Tiere (Müller 2009).

Die meisten Kleinsäuger leben unter dem Boden in Bauten. Bei Lauf- oder Kronenfeuern sind diese daher kaum gefährdet. Entstehen aber Stockfeuer, sind die im Boden lebenden Arten stark betroffen. Über die Anpassung der Tiere nach einem Feuer kann Dr. Müller nur spekulieren. Spitzmäuse beispielsweise sind Insektenfresser. Nach einem Feuer ist das Habitat der Insekten zerstört. Wie die Spitzmäuse auf diese Situation reagieren ist unklar. Allgemein sind aber Spitzmäuse im SNP sehr selten, da der Nationalpark vor allem trockene und artenarme Föhrenwälder aufweist (Müller 2009).

Vorteile für Kleinsäuger können entstehen, wenn nach einem Feuer eine Schlagflora aus Sträuchern und Stauden entsteht, die eine gute Deckung bietet. Ein solches Habitat besitzt viele Mineralien und Nährstoffe und könnte zum Beispiel für die Erdmaus (*Microtus agrestis*) und für den Baumschläfer (*Dryomys nitedula*) neue Lebensräume bieten. Beide Arten kommen im Gebiet des Parkes in geringer Zahl vor (Müller 2009).

Die räumliche Differenzierung über mögliche Auswirkungen von Waldbränden auf Kleinsäuger konnte nicht erbracht werden. Aus diesem Grund wurde zu diesem Thema keine Karte erstellt. Die erhaltenen Daten können daher nicht in die Berechnung der Auswirkung miteinbezogen werden.

Avifauna

Dr. Meier-Zwicky: Seit über 30 Jahren gehört Dr. Meier-Zwicky der Ornithologischen Arbeitsgruppe des Kantons Graubünden an und hilft immer wieder bei Untersuchungen im SNP mit (Meier 2009).

Weniger als die Hälfte der im SNP vorkommenden Vögel sind Brutvögel, die anderen sind Durchzügler und Wintergäste. Würde es im SNP brennen, könnten die meisten Vögel flüchten. Wahrscheinlich wären nur wenige Arten den Flammen ausgeliefert, weil sie schlechte Flieger sind. Das Auerhuhn (*Tetrao urogallus*) gehört eventuell zu diesen. Diese Art ist in Europa wie auch in der Schweiz stark zurückgegangen. In Graubünden, speziell auch in den Wäldern des SNPs, hat es sein Kern- und Rückzugsgebiet gefunden. Würden diese Wälder abbrennen, könnte die Existenz des Auerhuhns im SNP gefährdet sein (Meier 2009).

Waldbrände würden aber für die Avifauna auch viele positive Effekte zeigen; auch für das Auerhuhn. Aus einer geschlossenen Fläche kann plötzlich eine offene werden, was nicht nur Auerhühner anzieht: Viele Arten bevorzugen lichte Wälder mit krautigem Unterwuchs (Meier 2009).

Das Haselhuhn (*Bonasa bonasia*) sowie viele Kleinvögel leben vor allem in Jungwäldern oder an Waldrändern, wo sie am Boden oder in jungen Bäumen nisten können. Wenn sich nach einem Brand junge Bäume etablieren könnten, – nicht wie auf der Waldbrandfläche bei Il Fuorn – würde eine junge und lichte Waldgesellschaft entstehen, die viele Vogelarten

anziehen würde. Dr. Meier glaubt aber nicht, dass sich, wie auf der Waldbrandfläche bei Leuk (siehe Kapitel 4.1.3), neue Vogelarten nach einem Brand etablieren. Wahrscheinlich würden die geflohenen Vogelarten zurückfinden (Meier 2009).

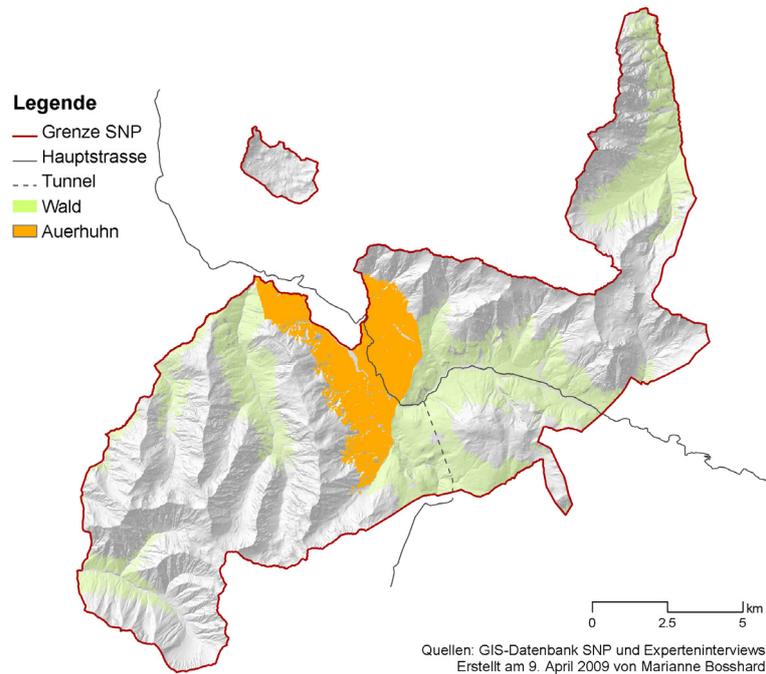


Abbildung 9.3: Habitat des Auerhuhns.

9.3 Auswirkungen auf Boden

Dr. Lüscher: Zu diesem Thema wurde der Bodenexperte Dr. Lüscher befragt. Er ist seit 12 Jahren in der Forschungskommission des SNPs und führt oder betreut dort immer wieder kleinere und grössere Projekte. Sein letztes grösseres Projekt war die Erstellung einer modellierten Bodenkarte über das Gebiet des Nationalparks. Seine Untersuchungen über die Auswirkungen auf den Boden vom Waldbrand in Leuk (2003) bildeten die Grundlage für dieses Interview (Lüscher 2009).

Herr Lüscher sieht in einem Waldbrand zum einen eine Zerstörung des Bodens, zum anderen auch eine Chance für den Standort. Je nachdem wie intensiv das Feuer ist, kann es ‚nur‘ die organische Auflage verändern oder aber die Hitze dringt tief in den mineralischen Boden ein und beeinflusst den dortigen Lebensraum zusätzlich. Es ändert sich die Hydrophobizität des Oberbodenmaterials, was sich auf den Wasser- und damit auch auf den Nährstoffhaushalt auswirken kann. Mit der Zeit verschwindet diese Eigenschaften und der Boden kehrt zu seinem ursprünglichen Zustand zurück. Der Wechsel des Wasser- und Nährstoffhaushaltes kann durchaus eine Chance für Nährstoffe im Oberboden sein, führt aber immer auch zu einer Veränderung des Keimbeets (Lüscher 2009).

Von einem Waldbrand können vor allem Böden mit einer mächtigen Humusaufgabe profitieren. Durch die Verbrennung der Auflage entsteht eine rasche Verfügbarkeit der gespeicherten Nährstoffe. Auch hier hat es aber Auswirkungen auf das Keimbeet und dessen Wurzelraum. Dadurch können sich neue Pflanzengesellschaften etablieren und andere Waldgesellschaften entstehen. Eine allgemeine Aussage, ob ein Feuer mehrheitlich positive oder negative Effekte aufweist, ist kaum möglich. Es ist eine Störung, welche einen Neuanfang bewirkt und den Ausgangspunkt des Bodenbildungsprozesses verändert (Lüscher 2009).

Rohböden, die sich gerade erst eine organische Auflage auf einem Fels oder über Blockschutt gebildet haben, kann ein Feuer so verbrennen, dass darauf folgende Erosionsprozesse die gesamte Auflage wegtransportieren und die Bodenbildung wieder beim Ursprung beginnen muss. Konnten sich die Böden bereits weiterentwickeln, kommt es auf die Art und Intensität der Störung an. Danach spielt es eine Rolle, an welchem Punkt sich die ‚neue‘ Bodenbildung fortsetzen kann (Lüscher 2009).

Im Nationalpark in der Schweiz gibt es örtlich sehr saure Böden mit einer dicken organischen Auflage. Daneben sind hauptsächlich kalkhaltige Böden mit geringer Auflage vorhanden. Zwischen diesen zwei Extremen gibt es viele Zwischenformen, bei denen in einer bestimmten Tiefe immer eine Kalkgrenze auftritt. Oftmals beeinflusst ein Feuer nur den Oberboden, beziehungsweise die Humusform. Diese ist vom Unterboden beziehungsweise vom Ausgangsgestein abhängig und daher sind meistens saure Böden mit einer dicken Humusaufgabe stärker von einem Waldbrand betroffen als andere. Aber auch kalkhaltige Böden können bei Trockenheit organische Auflagehorizonte aufweisen. Diese Variationen sind keine grossflächigen Erscheinungsformen, sondern treten kleinflächig in Nischen auf. Für eine Differenzierung nach Empfindlichkeit oder nach ‚Nutzen‘ bezüglich Waldbrand müsste das Gebiet sehr detailliert angeschaut werden. Die vorhandene Bodenkarte, die vor allem einen Überblick über das Gebiet des SNPs verschafft, ist daher nicht geeignet. Eine genügend differenzierte Bodenkarte ist leider noch nicht verfügbar. Aus diesem Grund ist es nicht möglich eine solche Karte in diese Arbeit zu integrieren (Lüscher 2009).

9.4 Auswirkungen auf die Infrastruktur

Familie Duschletta, Frau Cazin, Herr Bott und Dr. Filli: Zu diesem Thema durfte die Hüttenwartfamilie Duschletta, die Wirtin des Hotels Il Fuorn, Frau Cazin, der Parkwächter und Feuerwehrmann Herr Bott (Vizekommandant im Kreis Val Müstair) sowie der Leiter der Forschung des SNPs Herr Filli befragt werden.

Die wenigen Infrastrukturen, welche sich im Nationalpark befinden, sind bei einem Waldbrand direkt (Verwüstung) oder indirekt durch sekundäre Effekte (Lawinen, Rutschungen etc.) betroffen. Vor allem die Cluozza Blockhütte, welche mitten im verkehrstechnisch schwierig erreichbaren Val Cluozza liegt, würde wahrscheinlich den Flammen erliegen. Das Hotel Il Fuorn hingegen liegt in der Nähe einer Wasserquelle, ist besser erschlossen und ist mit einer Feuermeldeanlage ausgestattet. Die vielen Parkhütten und Brücken, die für die Besucher errichtet wurden, das Grenzwachthaus sowie der Lüftungsschacht beim Munt-la-Schera-Tunnel könnten bei einem Feuer in Mitleidenschaft gezogen werden. Schutzmassnahmen für diese Infrastrukturen gibt es keine (Filli 2009, Cazin 2009,

Duschletta 2009, Bott 2009).

Bei der Ofenpassstrasse wurde eine 30 Meter breite Schneise angelegt um Waldbränden, welche durch die Benutzung der Hauptstrasse entstehen können, vorzubeugen. Während des ganzen Jahres muss der Zugang ins Val Müstair über diese Verbindungsstrasse gewährleistet werden. Im Winter mindert das Salzen die Gefahr der Vereisung, fördert aber auch die Austrocknung des Bodens entlang dieser Strasse. Sehr trockene Waldgesellschaften sind die Folgen. Zudem dient diese Schneise auch dem Schutz des Wildes (Filli 2009, Bott 2009).

Oberhalb der Hauptstrasse erstreckt sich ein Schutzwald, welcher diese Infrastrukturen vor Lawinen, Murgängen etc. schützt. Aus diesem Grund ist der Schutz dieses Waldes von grosser Bedeutung (Filli 2009, Bott 2009).

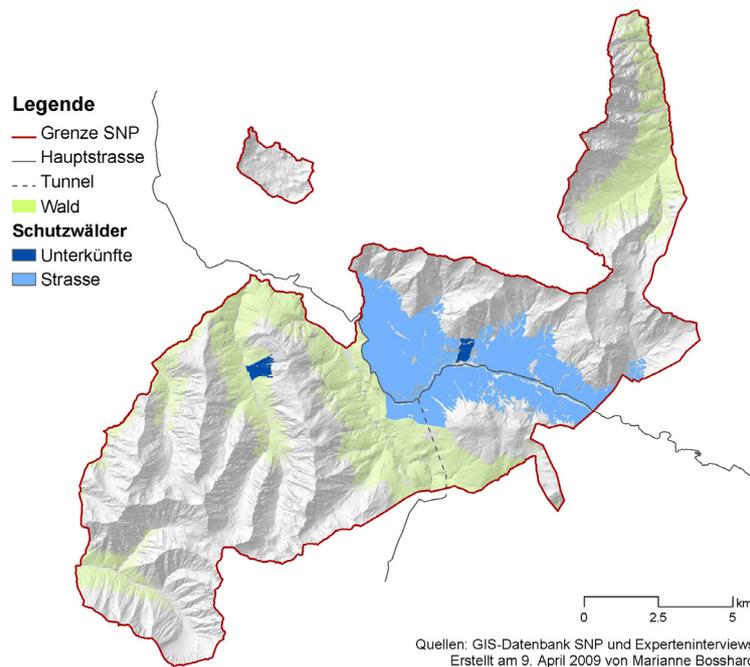


Abbildung 9.4: Schutzwälder für Strassen und Unterkünfte.

9.5 Zusätzliche Fragen

Nicht nur zum Thema Waldbrand und dessen Auswirkungen im SNP wurden die Experten befragt, sondern auch, ob sie in diesem Gebiet einen natürlich entstandenen Waldbrand brennen lassen oder löschen würden sowie auch welche Skala sie bei einer Risikokarte bevorzugen würden. Hier eine kurze Zusammenfassung der Antworten diesbezüglich.

Natürliche Waldbrände löschen?

Am Ende jedes Interviews wurden die Experten gefragt, ob sie einen natürlich entstandenen Waldbrand brennen lassen würden. Die Reaktionen darauf fielen ganz unterschiedlich

aus. Vor allem Personen, die auf die Infrastruktur im SNP angewiesen sind, würden mehrheitlich alle Feuer löschen, egal wo es brennt.

Die meisten Experten konnten aber diese Frage nicht direkt beantworten. Für sie wäre es wichtig zu wissen, wo es brennt und was alles gefährdet sein könnte. Nur eine Minderheit würde eher der Natur ihren freien Lauf überlassen und danach sofort mit Untersuchungen beginnen. Argumente für das Brennen lassen liefert das Nationalparkgesetz sowie das Bewusstsein um das fehlende Wissen über die Auswirkungen eines Feuers auf Flora, Fauna und Boden.

Die Experten sind sich einig, dass Feuer zur natürlichen Dynamik des Ökosystems gehören und deren ständige Unterdrückung nicht nur positive Auswirkungen auf den Naturhaushalt hat. Ein Experte hat dies wie folgt ausgedrückt: Für das Ökosystem ist ein Feuer sehr gut, für die Wissenschaft exzellent, aber für das persönliche Wohlergehen eher schlecht.

Risikostufen

Bei der Frage welche Abstufung eine Risikokarte aufweisen soll, ging es vor allem darum, ob die Experten bei einer Risikoanalyse eine dreistufige oder eine fünfstufige Werteskala bevorzugen. Die Mehrheit favorisiert eine dreistufige Gliederung der Resultate, da dies ohne viele Zwischenstufen ausreichende Informationen und klare Argumente für Entscheidungen liefert.

Eine fünfstufige Skala findet Zustimmung, wenn genügend Argumente zur Differenzierung des Sachverhaltes vorhanden sind.

Die Ausgangskarte (Risikokarte, Abbildung 10.2), die kontinuierliche Werte aufweist, kann entweder in fünf oder drei Stufen reklassifiziert werden. Weiter besteht die Möglichkeit eine fünfstufige Skala auf drei Stufen zu reduzieren in dem Klassen zusammengefasst werden. Dabei muss aber bedacht werden, dass bei jeder Klassifizierung Daten zusammengezogen werden und dadurch Informationen verloren gehen. Werden Daten mehrmals reklassifiziert, ist der Informationsverlust umso grösser. Reklassifizierungen sollten daher immer von den Originalwerten aus berechnet werden.

9.6 Gesamtübersicht der möglichen Auswirkungen

Verarbeitung der Informationen aus den Interviews

Die einzelnen Karten wurde anhand der Angaben aus den Experteninterviews erstellt. Während der Gespräche wurde nach den räumlichen Auswirkungen gefragt und gebeten, wenn möglich das Aktionsfeld einzugrenzen. Die vielfältigen Lebensräume eines Ökosystems lassen sich aber oft nicht auf ein Gebiet einschränken, sind doch die Interaktionen zwischen ihnen sehr komplex und bis anhin nicht im Detail erforscht. Auch kann nicht generell von positiven oder negativen Auswirkungen gesprochen werden, da jede Veränderung für die einen ein Verlust und für andere ein Gewinn ist.

Erst wenn eine Störung eintritt, können Auswirkungen untersucht und festgehalten werden. Auch die zwei Waldbrandflächen im SNP können nicht über das ganze Gebiet des SNPs Aufschluss geben. Eine Bestandesaufnahme des heutigen Zustandes ist möglich und wurde teilweise schon erstellt. Zerstörungen oder Beeinträchtigungen durch einen

Waldbrand können so abgeschätzt werden. Doch die positiven Folgen sind schwieriger vorauszusagen.

Erstellung der Karten

Die oben aufgeführten Karten stellen Waldflächen dar, die bei einem Waldbrand aus Sicht der Experten von unerwünschten Auswirkungen betroffen wären. Die Einteilung nach ‚Schadensstufen‘ erfolgt nach menschlichem Interesse. Werden wichtige Infrastrukturen beschädigt oder werden diese durch sekundäre Effekte gefährdet, werden sie einer hohen ‚Schadensstufe‘ zugeteilt (Stufe 5). Sind Infrastrukturen bei der Kartierung nicht berücksichtigt, werden die Wälder einer geringeren ‚Schadensstufe‘ zugeordnet (Stufe 2). Dadurch erhält jedes ausgewiesene Gebiet eine Gewichtung, welche in einem separaten Layer festgehalten wurde.

Das Rückzuggebiet des Auerhuhns, das Gebiet der evtl. neu entdeckten Ameisenart sowie die Gebiete von seltenen Flechten wurden je in einem Layer ausgewiesen und mit dem Wert 2 (Stufe 2) versehen. Datenpunkten ausserhalb der ausgezeichneten Gebiete wurde der Wert 1 (Stufe 1) zugewiesen, so dass eine Addition der Layer möglich ist. Die Gebiete der Schutzwälder für die Hauptstrasse und für die Unterkünfte wurden in zwei Layern (Schutzwald Strasse und Schutzwälder Unterkünfte) modelliert. Die Schutzwälder wurden jeweils mit dem Wert 5 (Stufe 5) versehen, die anderen Rasterpunkte auf den Layern wurden wieder dem Wert 1 (Stufe 1) zugewiesen. Für die weitere Berechnung wurde diese fünf Layer addiert. Zum Schluss musste das Resultat noch mit den Waldgesellschaften verschnitten werden, so dass nur Waldflächen ausgewiesen werden (siehe Abbildung 9.5). Die Addition der fünf Layer ergab eine Karte mit acht Klassen. Dabei entstanden Klassen, die nur kleine Gebiete umfassen. Mit Hilfe der Reklassifizierung anhand natürlicher Brüchen (**natural breaks**) wurden diese Klassen einer anderen zugeordnet. So wurde eine übersichtliche Karte mit fünf Stufen generiert (siehe Abbildung 9.6).

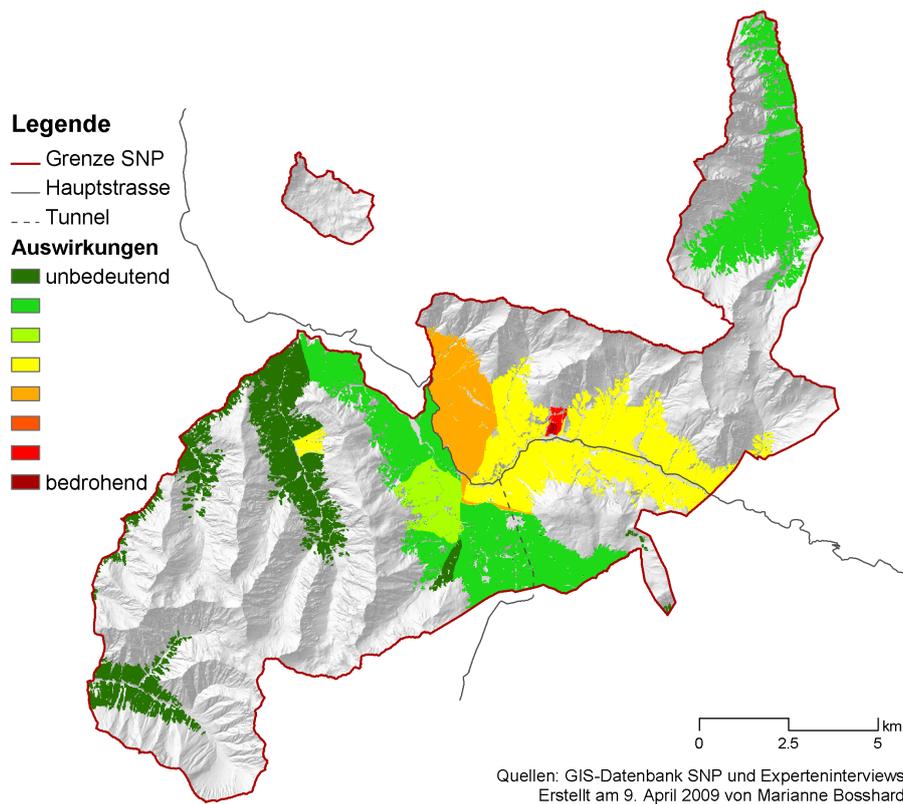


Abbildung 9.5: Resultat der möglichen Auswirkungen eines Waldbrandes im SNP (unklassiert).

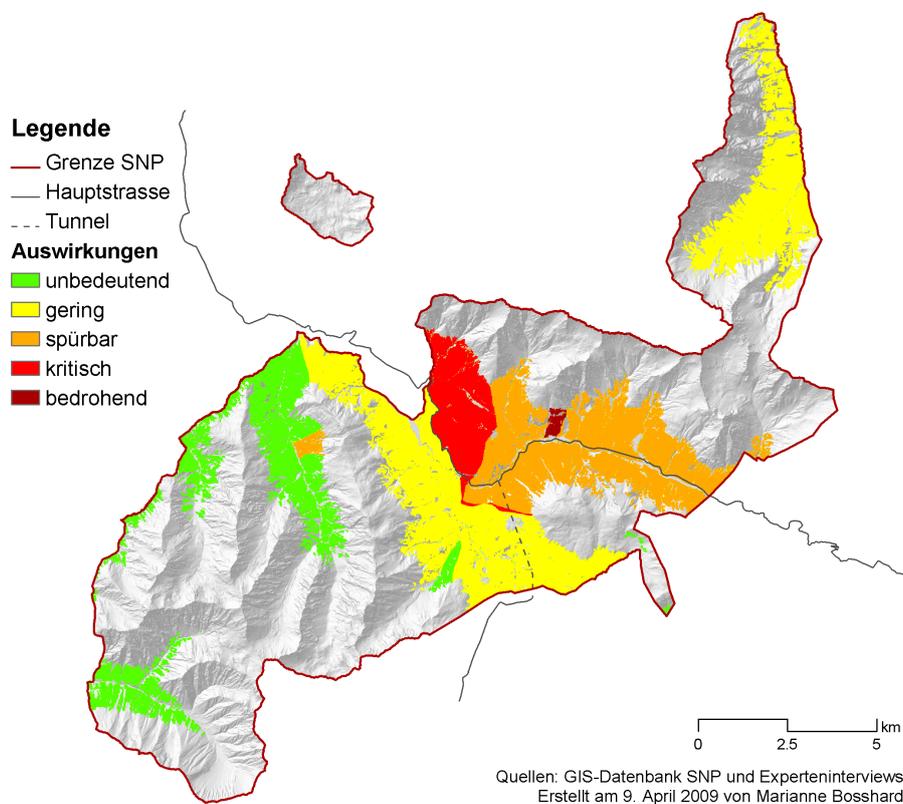


Abbildung 9.6: Resultat der möglichen Auswirkungen eines Waldbrandes im SNP (klassiert).

Kapitel 10

Risikoanalyse

Berechnung

Bei der Berechnung des Risikos wird auf die Formel

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Auswirkungen}$$

zurückgegriffen, welche im Kapitel 3.1 besprochen wurde.

Um Genauigkeitsverluste bei der Berechnung des Risikos zu vermeiden, wurde mit den unklassierten Resultaten der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Waldbränden und deren der Auswirkungen gearbeitet. Diese wurden vorab auf den Maximalwert von 5 normiert, was eine gleichwertige Behandlung beider Layer bei der weiteren Verarbeitung für die Risikoanalyse garantiert.

Datenverteilung

Nach der Multiplikation entstand ein Layer, der das potentielle Risiko im SNP zeigt. Die Datenwerte sind bimodal, asymmetrisch verteilt (Bahrenberg et al. 1999, S. 37), was aus dem Histogramm 10.1 hervorgeht.

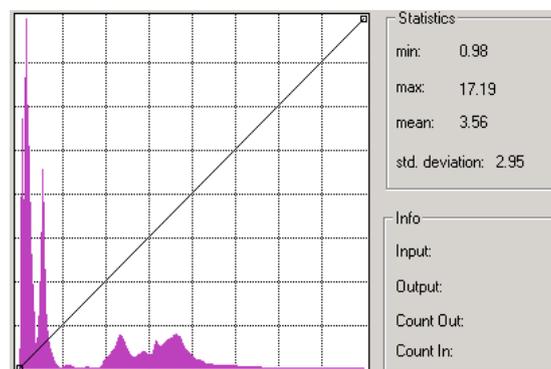
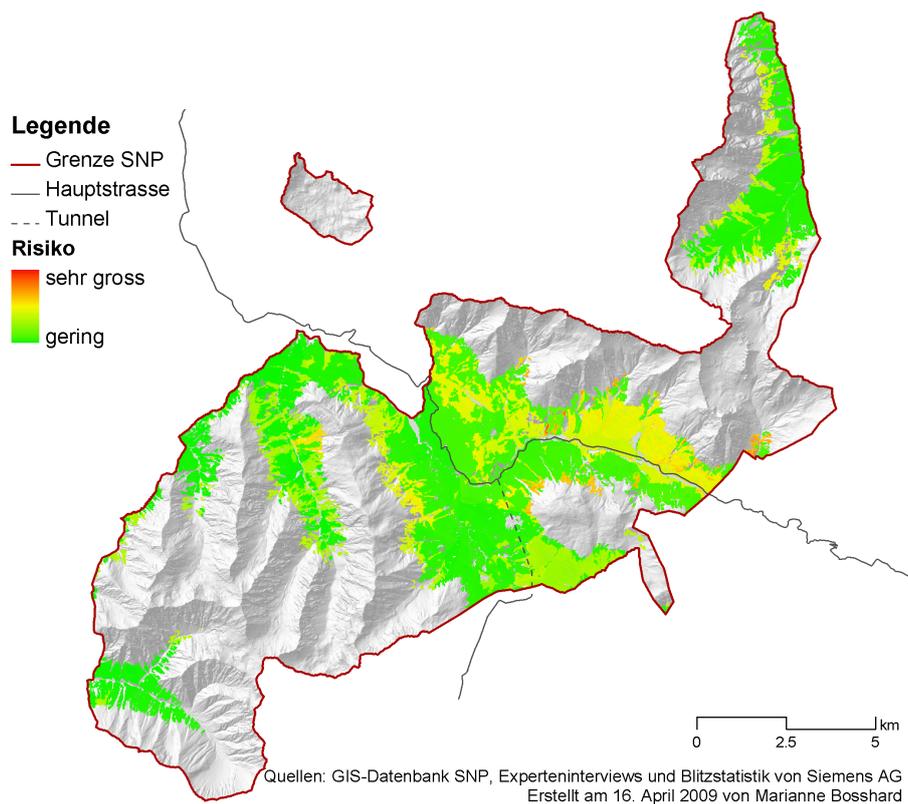


Abbildung 10.1: Histogramm der Datenwerte aus der Risikoanalyse

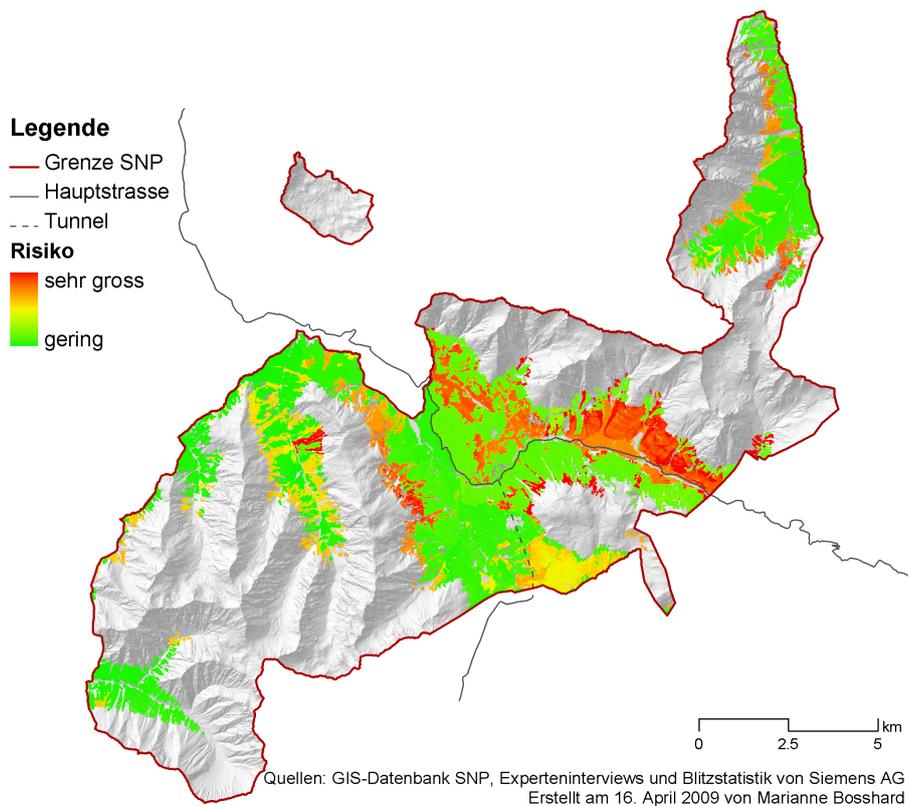
Die meisten Daten liegen im unteren Wertebereich. Nur wenige Punkte weisen hohe Werte auf, die als grosses bis sehr grosses Risiko datiert werden. Mit Hilfe der Standardabweichung kann die Werteverteilung gestreckt werden, so dass die Werte mit einer hohen Häufigkeit besser zur Geltung kommen (siehe hierzu Abschnitt 8.1).

Reklassifizierung

In den Abbildungen 10.3 und 10.4 wurde die Skala auf 5 respektive 3 Stufen reklassifiziert. Dabei wurde die Unterteilung anhand gleicher Intervalle (**equal intervals**) vorgenommen, so dass die Werte gut untereinander verglichen werden können: z.B. weisen Werte, die der Stufe 5 (sehr grosses Risiko) zugeordnet sind, ein 5 mal höheres Risiko auf, als die der Stufe 1 (geringes Risiko). Diese Art der Reklassifizierung ermöglicht eine bessere Differenzierung sowie bessere Vergleichsmöglichkeiten der Daten innerhalb einer Karte, als wenn eine andere Methode angewendet worden wäre. Beispielsweise könnten die Daten mit Hilfe von natürlichen Brüchen (**natural breaks**) reklassifiziert werden. Dabei werden ‚Brüche‘ in der Datenverteilung gesucht um Klassen zu bilden. Die Klassengrössen und Werteverteilung innerhalb der Klassen variieren, was den Vergleich der Daten innerhalb der Karte erschwert.



(a) Lineare Darstellung



(b) Darstellung mit Hilfe der Standardabweichung

Abbildung 10.2: Resultat der Berechnung der Risikoanalyse, dargestellt mit kontinuierlichen Daten.

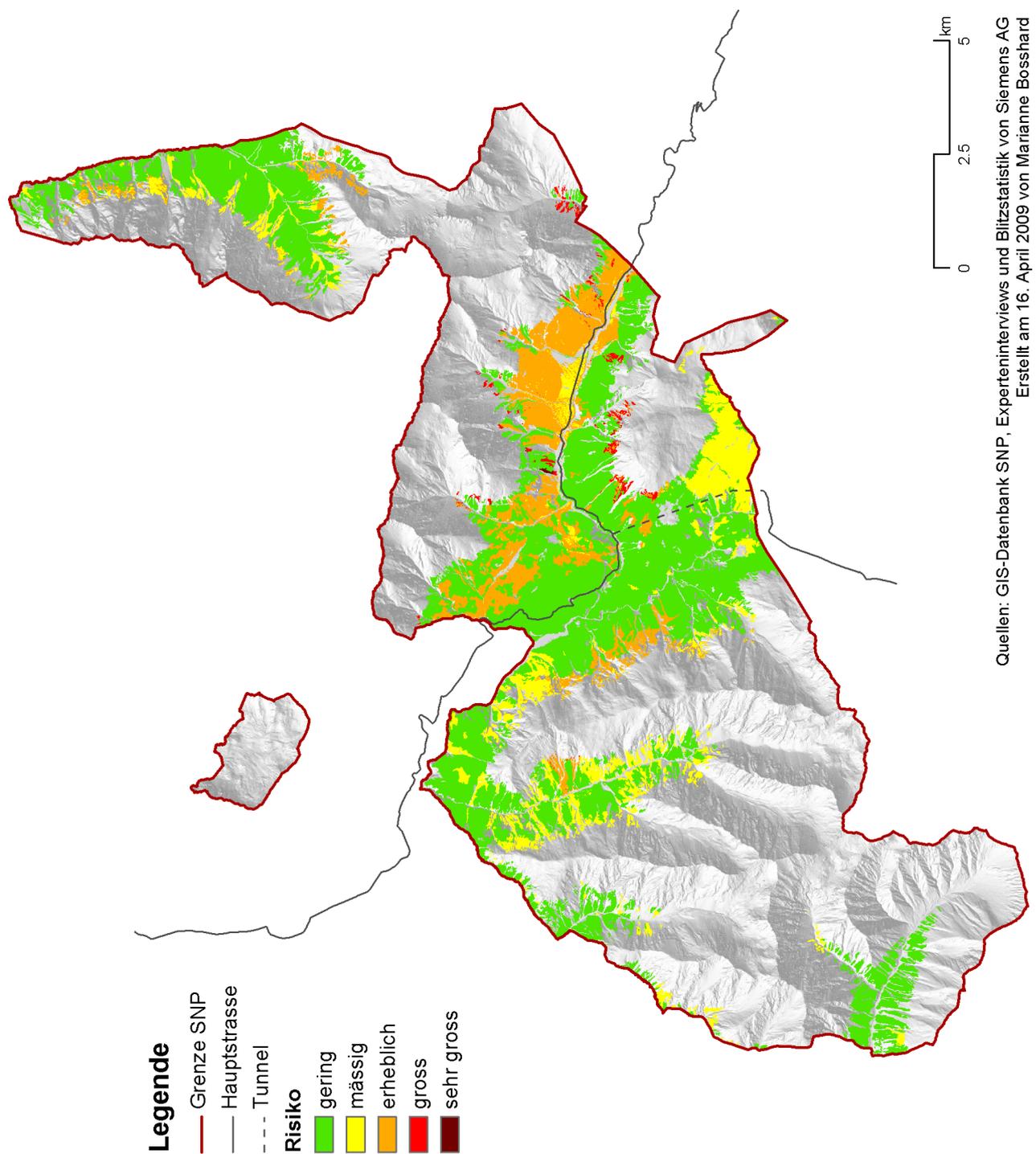


Abbildung 10.3: Resultat der Berechnung des Risikos, reklassifiziert anhand gleicher Intervalle auf 5 Stufen.

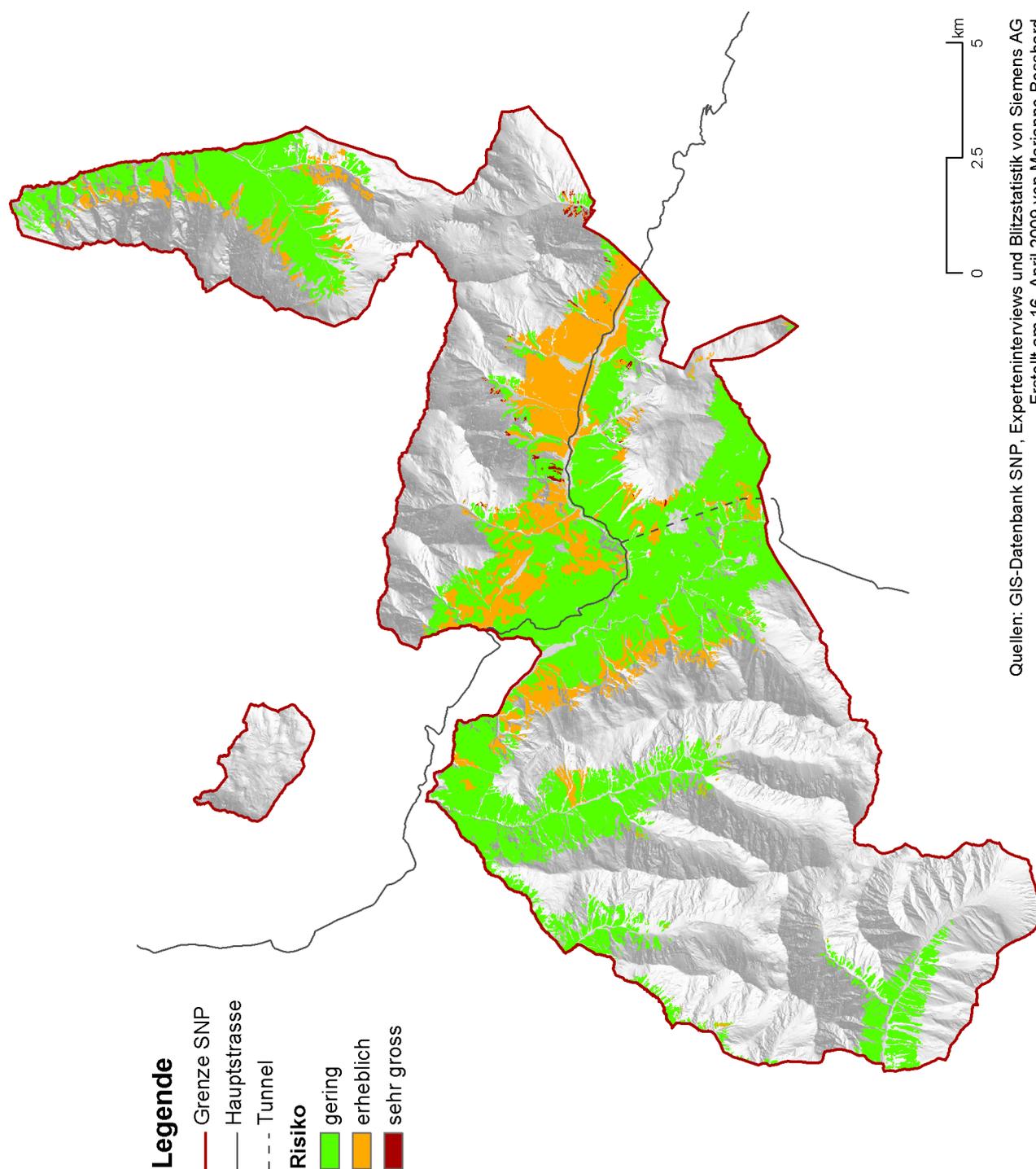


Abbildung 10.4: Resultat der Berechnung des Risikos, reklassifiziert anhand gleicher Intervalle auf 3 Stufen.

Teil V

Diskussion und Schlussfolgerungen

Kapitel 11

Diskussion

11.1 Eintrittswahrscheinlichkeit

11.1.1 Natürlich verursachte Waldbrände

Feuerausbreitung

Blitzhäufigkeiten und -intensitäten sowie Waldgesellschaften sind wichtige Faktoren für die Zündung eines natürlichen Feuers. Mit Hilfe dieser zwei Faktoren lässt sich die Eintrittswahrscheinlichkeit eines natürlich verursachten Waldbrandes aufzeigen. Ein weiterer wichtiger Aspekt fehlt aber: Die Ausbreitung eines Feuers. Die Wälder in höher liegenden Gebieten sind durch die Ausbreitung von Feuern, welche sich in tieferen Gebieten entzündet haben, gefährdeter als tiefer gelegene Wälder. Mit einer Simulation von Feuerausbreitung, wie dies Arpaci in seiner Diplomarbeit erarbeitet (Arpaci, Zawila-Niedzwiecki & Allgöwer 2008), könnte Abhilfe geschaffen werden. Arpaci kann mit Hilfe von FARSITE¹ den Ablauf eines Waldbrandes im SNP simulieren, in dem er den Zündungspunkt eines Feuers, die Brennmaterialien, Wetterkonditionen etc. als Parameter vorgibt. Verschiedene Varianten könnten so berechnet und in die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit integriert werden. Ohne sehr grossen Aufwand kann die Berechnung der Ausbreitung eines Feuers von jedem möglichen Punkt aus leider nicht durchgeführt werden. Vorstellbar wäre, typische Wetterlagen zu identifizieren und für diese die Ausbreitung von Feuern mit Zündungspunkten aus einem Raster mit definierter Maschenweite zu simulieren.

Bachmann (2001) errechnete in seiner Dissertation die Risiken von Objekten, indem er vom untersuchten Objekt ausging und die Gefahr berechnete, der es ausgesetzt ist. Im Gegensatz zu Arpaci berechnet er nicht die Ausbreitung eines Feuers von einem bestimmten Zündungspunkt aus, sondern er rechnet von einem Objekt zurück, so dass die Gefährdung des Objektes kalkuliert werden kann (Arpaci et al. 2008, Bachmann 2001). Davon ausgehend wäre eine andere Möglichkeit ein Modell zu erstellen, das für jeden Punkt, resp. Pixel im Raster die potentielle Erreichbarkeit eines Feuers angibt. Punkte in hohen Gebirgslagen sowie an Steilhängen wären dabei stärker betroffen, als Punkte in tiefen Lagen

¹FARSITE ist ein Feuerausbreitungssimulator. Für seine Berechnungen greift er auf räumliche Informationen bezüglich Topologie, Brennmaterial, Wetterkonditionen und Winde zurück. Verschiedene Feuertypen (Lauffeuer, Kronenfeuer oder Stockfeuer) können so simuliert werden (Missoula Fire Sciences Laboratory 2008, <http://www.firemodels.org/content/view/112/143/>, Zugriff: 26.03.2009).

sowie in flachen Gebieten.

Ob diese Art der Berechnung, wie sie Bachmann durchgeführt hat, die Lösung des oben erwähnten Problems ist, ist schwierig abzuschätzen, da für jeden Punkt im Gelände die Berechnung durchgeführt werden müsste und der Aufwand schwierig abzuschätzen ist. Arpacis Ausbreitungsmodell ist ein wichtiger Teil des Waldbrandmanagements, welches für den SNP erarbeitet werden soll. Eine dynamische Lösung seiner Ansätze wäre wünschenswert, so dass die Feuerausbreitung bei einem akuten Waldbrand gleich berechnet werden könnte. Diese Daten könnten mit der hier erstellten Risikoanalyse verglichen werden. Aussagen über mögliche Risiken des aktuellen Feuers wären gewährleistet (Arpaci et al. 2008).

Karte der Blitzhäufigkeiten

Ein anderer Punkt, der diskutiert werden soll, ist die verwendete Karte der Blitzhäufigkeiten. Bei der Berechnung der Kerndichte (*kernel density*) (siehe Abschnitt 6.1.2) wurde ein Suchradius festgesetzt, der für diese Arbeit Gültigkeit hat. Diese Bestimmung beruht nicht auf empirischen Quellen.

Das Ergebnis der Berechnung der Kerndichte mit dem Suchradius über 2'000 km zeigt räumliche Tendenzen von Blitzhäufigkeiten und -stärken gut auf. Wird der Suchradius verkleinert, werden die Tendenzen schlechter sichtbar und die Datenstrukturen unruhiger. Für die weitere Verrechnung kämen dabei die Tendenzen zu wenig zur Geltung und die Aspekte der Blitzhäufigkeit und -stärken würden nicht genügend berücksichtigt werden. Das Gegenteil wird mit einem grösseren Suchradius erzielt. Bei der Verwendung der Resultate der Kerndichte mit sehr grossen Suchradien entstehen zu flächenhafte Strukturen. Die Auswahl des Suchradius beruht auf mehreren Berechnungen der Kerndichte mit unterschiedlichen Suchradien. Dabei wurde vor allem auf das visuelle Erscheinungsbild der Ergebnisse geachtet.

11.1.2 Anthropogene Waldbrände

Gewichtungen

Im Abschnitt 6.2.6 wurde eine mögliche Gewichtung für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände vorgeschlagen. Als Vergleich hierzu wurde zusätzlich eine Karte ausgearbeitet, bei denen die Layer ohne Gewichtungen addiert wurden (Abbildung 8.4 (gewichtet) und Abbildung 8.5 (ungewichtet)). Bei der vorgeschlagenen Gewichtung der Layer stellt sich die Frage, ob diese absolut ist, oder ob Änderungen vorgenommen werden sollen. Die in dieser Arbeit verwendeten Annahmen beruhen auf Schlüssen der Autorin und sind nicht empirisch überprüft.

Als Grundlage für die weitere Diskussion wird hier die verwendete Gewichtung der Layer nochmals aufgeführt:

Gewichtung Objekte (Layer)

2	Hauptstrasse, Parkplätze, Bushaltestellen, Unterkünfte sowie Teilgebiete
1	Wege, Rastplätze und Informationstafeln
0.5	Exposition und Waldgesellschaften

Die Anwendung des **analytic hierarchy process (AHP)** (analytischer hierarchischer Prozess) wäre eine Möglichkeit, die Gewichtung der Layer analytisch zu erfassen. Dabei werden immer zwei Argumenten einander gegenübergestellt und ihre Wichtigkeit mit einer Skala von 1 bis 9 untermauert (Weibel & Purves 2005). Eine zusätzliche Befragung von Experten (z.B. Parkwächter, Hotelwirten, Besucher des SNPs etc.) wäre dafür notwendig, wurde aus zeitlichen Gründen aber nicht durchgeführt. Eine solche Auswertung wäre für eine zukünftige Analyse sehr nützlich. Zur besseren Veranschaulichung dieser Methode wurde ein Beispiel (Abbildung 11.1) aufgestellt.

	Hauptstrasse	Unterkünfte	Wege	Rastplätze	Exposition	Summe	Berechnung	Gewichtung
Hauptstrasse	1	0.5	8	6	9	0.29	$1/(1+2+1/8+1/6+1/9)$	5
Unterkünfte	2	1	6	5	8	0.29	$1/(2+1+1/6+1/5+1/8)$	5
Wege	1/8	1/6	1	1/3	0.5	0.05	$1/(8+6+1+3+3)$	2
Rastplätze	1/6	1/5	3	1	1/3	0.07	$1/(6+5+1/3+1+3)$	3
Exposition	1/9	1/8	2	3	1	0.04	$1/(9+8+2+3+1)$	1

Abbildung 11.1: Beispiel einer möglichen AHP-Auswertung

Waldgesellschaften und Exposition

Die tiefe Gewichtung der Layer der Waldgesellschaften und der Exposition scheint vernünftig, da die Ursache eines Feuers hier anthropogen bedingt ist und daher vor allem an Plätzen vorkommt, an denen sich die Besucher aufhalten. Ganze Flächen wie z.B. Waldgesellschaften für mögliche gefährdete Stellen auszuweisen, entspricht nicht den Gegebenheiten. Diese Parameter (Waldgesellschaften und Exposition) ganz auszuschliessen würde wiederum das Bild verfälschen: Unterschiedliche Waldtypen weisen unterschiedliche Eigenschaften, wie Totholzmenge, Feuchtigkeit etc. auf. Diese haben Einfluss auf die Entzündbarkeit des Brennmaterials. Aber auch die Exposition soll berücksichtigt werden, sind doch südliche Berghänge meist trockener als Nordhänge und daher besser entflammbar.

Hauptstrasse, Parkplätze, Bushaltestellen, Unterkünfte sowie Teilgebiete

Die Wahrscheinlichkeit eines anthropogenen Waldbrandes steigt, sobald sich die Anzahl Besucher an einem Ort erhöht. Aus diesem Grund wurden die Layer mit Gebieten mit hoher Besucherzahl (Parkplätze, Unterkünfte etc.) höher gewichtet als andere Layer (Wanderwege, Rastplätze etc.). Ob dabei der Layer mit den Wegfrequentierungen (Teilgebiete) auch eine doppelte Gewichtung erhalten soll, kann diskutiert werden, da er beide Seiten (Orte mit hoher und tiefer Besucheranzahl) beinhaltet. Da die Frequentierung aber einen wichtigen Aspekt aufzeigt, wurde dieser Layer auch doppelt gewichtet.

Integration zusätzlicher Informationen

Standorte, von denen eine besondere Aussicht genossen werden kann oder welche in Wanderführern speziell hervorgehoben werden, könnten zusätzlich modelliert und in die Auswertung integriert werden. Eine Möglichkeit Bewegungsdaten zu erhalten, wäre die Auswertung von GPS-Daten, welche bei der Verwendung des digitalen Wanderführers WEBPARK^{SNP2} anfallen. In dieser Arbeit wurden lediglich Orte ausgewiesen, die einen Schnittpunkt zwischen Wanderwege und Waldrand aufweisen. Begründung hierfür sind die vermuteten kurzen Pausen, die Wanderer vermehrt einlegen, wenn sie von einem Waldabschnitt ins Freie gelangen.

11.1.3 Vergleich der Eintrittswahrscheinlichkeiten

Der Vergleich der Resultate der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Feuern mit denen von anthropogenen Waldbränden ist schwierig, da kaum die selben Grunddaten in die jeweilige Berechnung einfließen. Die Ausnahme stellt der Layer mit den Waldgesellschaften dar.

Trotzdem ist ein Vergleich dieser zwei Resultate interessant, da sie die unterschiedlichen Ursachen eines Feuers gut widerspiegeln. Spielen bei natürlich verursachten Waldbränden vor allem Erdbeben eine Rolle, muss bei anthropogenen Feuern der Mensch die Verantwortung eines Brandes übernehmen. Dies zeigt sich durch die hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten entlang der Wege und um Infrastrukturen herum. Hingegen treten bei der Eintrittswahrscheinlichkeit von natürlich verursachten Feuern die Waldgesellschaften sowie die Blitzhäufigkeiten mehr in den Vordergrund und die Ausweisung von hohen Eintrittswahrscheinlichkeiten fällt flächenhafter aus.

11.2 Auswirkungen

Anhand der Experteninterviews wurden die Auswirkungen eines Waldbrandes zusammengetragen und in Karten festgehalten. Da aus zeitlichen Gründen nur ein kleiner Teil der potentiellen Experten befragt wurde, stellt sich hier zuerst die Frage, ob mehr Expertenwissen diese Arbeit bereichert hätte. Grundsätzlich gilt, je mehr Wissen zusammengetragen werden kann, umso differenzierter und genauer können die erhaltenen Daten analysiert und ausgewertet werden. Dabei darf nicht vergessen werden, dass unser Ökosystem so vielfältig und artenreich ist, dass es kaum möglich ist jeden Teilaspekt zu berücksichtigen. Wichtig ist, einen Überblick über mögliche Konsequenzen eines Waldbrandes aufzuzeigen. Da nur wenige Experten über ein bestimmtes Sachgebiet interviewt wurden, können die Resultate nicht verglichen werden. Meist mussten die Interviewten Annahmen im Bezug auf mögliche Auswirkungen treffen, was eine Überprüfung der Daten zusätzlich erschwert.

²Der digitale Wanderführer WEBPARK^{SNP} wird vom SNP und seinen Partnern zur Verfügung gestellt. Er dient als Wanderführer mit digitalisierten Routen. Zudem können Bestimmungsschlüssel zur Bestimmung von Pflanzen, Vögeln, Schmetterlingen und Heuschrecken, Panorama der schönsten Aussichtspunkte, Audiobotschaften von Parkwächtern und noch vieles mehr abgerufen werden (Schweizerischer Nationalpark SNP 2008, <http://www.nationalpark.ch/snp.html>, Zugriff: 26.03.2009).

Positive Auswirkungen

Vor allem über die positiven Auswirkungen eines Waldbrandes im SNP wurde bis anhin nur wenig Forschung betrieben und daher war es für die Experten schwierig klare Aussagen diesbezüglich zu machen und eine räumliche Abgrenzung von einzelnen Aspekten vorzunehmen. Somit konnten in dieser Analyse nur die negativen Aspekte berücksichtigt werden. Auf die Thematik der positiven Auswirkungen eines Feuers auf Flora und Fauna im SNP wird im Abschnitt 12.1.2 näher eingegangen.

Feuerintensitäten

Bei der Frage nach den Auswirkungen unterschiedlicher Feuerintensitäten wurden ähnliche Erfahrungen gemacht. Die meisten Experten sind der Ansicht, dass bei der Analyse der Auswirkungen die Feuerintensität berücksichtigt werden muss. Da hierzu Erfahrungswerte fehlen, konnte dieser Aspekt nicht in die Analyse miteinbezogen werden. Wären solche Informationen vorhanden, könnten die Auswirkungen nach den verschiedenen Feuerintensitäten unterteilt und modelliert werden.

Gewichtung

In dieser Arbeit wurden die Aussagen über mögliche Auswirkungen, welche einen räumlichen Bezug zu Teilgebieten des SNPs haben, in Karten festgehalten und gewichtet. Auswirkungen von Waldbränden, welche Infrastrukturen direkt oder durch Sekundäreffekte, wie Lawinen, Rutschungen etc. betreffen, erhielten eine hohe Gewichtung. Gefährdete Tierarten wurden als niedrig (Stufe 2 von 5) eingestuft, da die Auswirkungen viel unsicherer sind. Wälder, bei denen keine besonderen Auswirkungen aufgezeigt wurden, sind der Stufe 1 zugeordnet worden. Andere Gewichtungen sind durchaus denkbar.

Infrastrukturen

Bei der Ausweisung von Schutzwäldern für die Infrastrukturen wurden die Hauptstrasse sowie die beiden Unterkünfte ‚Hotel Il Fuorn‘ und die ‚Cluozza Hütte‘ berücksichtigt. Brücken, Wanderwege, Blockhütten der Parkwächter, Zollhaus sowie der Tunnelschacht wurden nicht berücksichtigt, da diese bei den vier Interviews zu diesem Themenbereich nur einmal am Rande erwähnt wurden. Daher wurden diese Infrastrukturen nicht besonders ausgewiesen.

11.3 Risikoanalyse

All die oben erwähnten Unsicherheiten haben einen Einfluss auf das Endresultat der Risikoanalyse. Daher ist es wichtig, dass die erarbeiteten Karten, welche die Risiken aufzeigen (Kapitel 10) nicht als absolut und kleinräumig interpretiert werden, sondern sie sollen die Grundlage für weitere Diskussionen und Forschung in diesem Gebiet geben.

Ein Augenmerk muss sicher auf das hohe Risiko um das Hotel Il Fuorn gerichtet werden. Ein Waldbrand in dieser Gegend hätte fatale Auswirkungen auf Infrastruktur und Flora.

Leider konnte in dieser Arbeit keine Risikoanalyse mit den potentiellen positiven Auswirkungen erstellt werden, da diesbezüglich zu wenig Informationen vorhanden sind. Die Gegenüberstellung der positiven und negativen Auswirkungen wäre sehr aufschlussreich und das Risiko könnte besser interpretiert werden.

Bei der Erarbeitung der Auswirkungen sind auch die ausgewiesenen Schutzwälder interessant, welche in der Risikokarte als geringes Risiko eingeschätzt werden. Hier ist der Einfluss der Berechnung Eintrittswahrscheinlichkeit sehr gut erkennbar.

Kapitel 12

Schlussfolgerungen und Ausblick

12.1 Schlussfolgerungen

12.1.1 Die wichtigsten Erkenntnisse

In dieser Arbeit wurde eine Risikoanalyse bezüglich Waldbrand im SNP erarbeitet. Durch die räumliche Auswertung der Blitzstatistik sowie die Differenzierung der unterschiedlichen Waldgesellschaften konnte die Eintrittswahrscheinlichkeit eines natürlich verursachten Feuers erarbeitet werden. Dabei weisen vor allem die Leg- und Bergföhrenwälder sowie südliche Gebiete mit hoher Blitzhäufigkeit und -stärke eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes auf.

Zum Vergleich hierzu wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Waldbrandes modelliert. Von den Besuchern rege genutzten Parkplätze, Wanderwege, Rastplätze etc. sind besonders feuergefährdet. Dies widerspiegelt die Parkordnung, die das Verlassen der Wege verbietet.

Die Risikoanalyse soll Unterstützung beim Entscheid bieten, ob natürlich verursachte Feuer gelöscht werden sollen oder nicht. Anthropogene Waldbrände werden grundsätzlich gelöscht, da sie nicht zum natürlichen Verlauf im Ökosystem gehören. Daher fließen die Resultate der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände nicht in die Risikoanalyse mitein.

Anhand von Experteninterviews sind die Auswirkungen auf die Infrastruktur, Flora, Fauna und den Boden erarbeitet worden. Da kaum Forschungsergebnisse bezüglich der Auswirkungen eines Waldbrandes im SNP vorhanden ist, mussten viele Annahmen getroffen werden. Vor allem über die positiven Effekte eines Waldbrandes sind kaum Erfahrungswerte vorhanden. Eine räumliche Unterscheidung der potentiell positiven Auswirkungen konnte daher nicht vorgenommen werden. Aus diesem Grund flossen nur negative Aspekte in die Analyse mit ein. Für eine differenzierte Auswertung wären Forschungsergebnisse bezüglich der positiven Auswirkungen eines Feuers im SNP wünschenswert.

Die hier vorgeschlagene Risikoanalyse kann Grundstein für Diskussionen der weiteren Handhabung von Waldbränden sein. Es konnte aufgezeigt werden, wo Forschungsbedarf besteht und welche Unklarheiten vorhanden sind.

12.1.2 Limiten und offene Probleme

Busch- und Steppenfeuer

Die Problematik ‚Waldbrand‘ fängt schon bei der Wortdefinition an: Wird unter Waldbrand das Abbrennen eines Waldes verstanden oder beinhaltet dieser Begriff auch Buschfeuer und das Brennen von Graslandschaften? Im Englischen Sprachraum wird von *wildfire* oder *wildland fire* gesprochen¹. Dabei wird jegliche Art von Feuer in der Natur miteinbezogen, seien dies Wald-, Busch- oder Steppenbrände.

Dieser Sachverhalt wurde aber in dieser Arbeit vorab nicht diskutiert und angenommen, dass es sich bei einem Waldbrand um das Abbrennen von Wäldern handelt. Für die Erarbeitung einer Risikoanalyse bezüglich Waldbränden wäre es vorteilhaft, wenn die oben erwähnten Aspekte auch mitberücksichtigt würden. Dürre Graslandschaften oder Gebüsche können sehr schnell in Flammen aufgehen, da sie durch ihre feine Struktur schneller austrocknen und besser entflammbar sind als Bäume. Von ihnen ausgehende Feuer können leicht auf Wälder übergreifen und somit grosse Ereignisse hervorrufen.

Damit diese Faktoren in die Risikoanalyse, respektive in die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes miteinbezogen werden können, müsste das Untersuchungsgebiet nach den verschiedenen Busch- und Graslandschaften unterteilt und deren Eigenschaften (Brennbarkeit, Brennverhalten etc.) analysiert werden. Zudem müsste die Befragung bezüglich der Auswirkungen auf diese Gebiete ausgedehnt werden. Dies aber hätte der Rahmen dieser Arbeit gesprengt, könnte und sollte aber in einer zukünftigen Analyse berücksichtigt werden.

Positive Aspekte der Auswirkungen

Die Beurteilung der Auswirkung einer Störung erfolgt bisher meist nach den negativen Aspekten: Welche Tiere und Pflanzen können verenden? Welche Infrastrukturen würden Schäden davon tragen etc.? Diese Auswirkungen sind kurz nach einem Ereignis klar ersichtlich. Die positiven Folgen werden erst nach einiger Zeit sichtbar und sind schwieriger zu analysieren (siehe Kapitel 4). Zudem besteht die Möglichkeit vor einem Eingriff ins Ökosystem den Sachbestand, und was dabei in Mitleidenschaft gezogen werden kann, aufzuzeigen. Die Folgen nach einem Ereignis sind schwieriger abzuschätzen. Vor allem wurde festgestellt, dass in der Schweiz kaum Erfahrungswerte zu den Folgen eines Waldbrandes vorhanden sind.

Alle befragten Experten mussten über mögliche Auswirkungen spekulieren, da nebst den fehlenden Erfahrungen das Ökosystem zu komplex und vielfältig ist, als dass klare Aussagen darüber gemacht werden könnten. Aus diesen Gründen wurde die Risikoanalyse nur mit den potentiell negativen Auswirkungen erstellt und diskutiert.

Wie aber würde eine Risikoanalyse aussehen, wenn auch die positiven Aspekte miteinbezogen würden? Zum Beispiel könnten viele feuerfolgende Pflanzenarten von einem Feuer

¹Defintionen gemäss der National Wildfire Coordinating Group (NWCG): *wildfire*: „*An unplanned, unwanted wildland fire including unauthorized human-caused fires, escaped wildland fire use events, escaped prescribed fire projects, and all other wildland fires where the objective is to put the fire out.*“ und *wildland fire*: „*Any non-structure fire that occurs in the wildland.*“ (National Wildfire Coordinating Group (NWCG) 2003).

profitieren. Auch die Bewertungskala der Auswirkungen müsste angepasst werden. Vor allem die zweithöchste Bewertungsstufe ‚kritisch‘ weist mehrheitlich auf negative Auswirkungen hin. Besser wäre, hier von ‚vielversprechenden‘ Auswirkungen zu sprechen.

Dann stellt sich noch die Frage, ob eine allgemeine Aussage über die Auswirkungen an einem Ort gemacht werden darf, oder ob für jeden Teilaspekt des Ökosystems eine eigene Analyse ausgearbeitet werden muss. Die Unterteilung der Risikoanalyse in positive und negative Auswirkungen müsste von Anfang an gemacht werden und in zwei Karten dargestellt werden. Diese Resultate könnten allenfalls am Schluss zu einer Gesamtansicht zusammengeführt werden.

12.2 Ausblick

Die in dieser Arbeit erstellte Risikoanalyse zeigt eine Möglichkeit von vielen auf. Dabei können einzelne Aspekte weiter ausgebaut und ergänzt, neue Faktoren, wie z.B. Zeitkomponenten, hinzugefügt oder zukünftige Gegebenheiten integriert werden.

12.2.1 Zeitkomponente

Bereits Langhart hat in ihrer Studie über natürlich verursachte Waldbrände Trends zu zeitlicher Komponenten gefunden. Gemäss ihren Auswertungen sind natürliche Waldbrände während den Sommermonaten (Juni – August) am häufigsten. Im Herbst treten noch einige Waldbrände auf, während in den feuchten Wintermonaten kaum Feuer aktiv sind (Langhart 1999, S. 105).

Dieser Trend zeigt sich auch in der Statistik der Blitzhäufigkeiten. In der Abbildung 12.1 wurde die Verteilung der Anzahl Blitze sowie deren Stärke über den Zeitraum der vorhandenen Daten wiedergegeben. Gut zu erkennen sind die Häufung der Blitze in den Sommermonaten. Daraus kann geschlossen werden, dass die meisten natürlich verursachten Waldbrände, welche Langhart untersucht hat, durch Blitze verursacht wurden.

Werden nicht Jahreszyklen betrachtet, sondern wird der Blick auf die Tageszyklen gerichtet, widerspiegeln sich die Trends von Langhart teilweise in den Blitzdaten (siehe Abbildung 12.2). Zwischen 16:00 Uhr und 20:00 Uhr ereignen sich gemäss der Statistik die meisten Erdblitze. Auch die Resultate von Langhart zeigen in diesem Zeitraum die meisten Feuerereignisse. Hingegen stellte sie einen Trend mittlerer Häufigkeiten von natürlichen Waldbränden während des Tages fest (Langhart 1999), welcher in der Blitzstatistik nicht ausgewiesen wurde.

Die beiden Diagramme (12.1 und 12.2) zeigen klare Präferenzen der Blitzhäufigkeiten, abhängig von der Tages- oder Jahreszeit. Anhand dieser Erkenntnis könnten Zeitreihen erstellt und in die Risikokarte eingebaut werden. Mit Unterstützung anderer Visualisierungstechniken (z.B. Ablauf von Zeitfrequenzen) könnten so die sich verändernden Risiken während eines Jahres oder Tages aufgezeigt werden.

Wenn Wetterdaten, sowie Daten über natürliche Feuerereignisse über den gleichen Zeitraum wie die Blitzstatistik gewonnen würden, könnten typische Szenarien, welche Waldbrände begünstigen, berechnet werden. Die Ausarbeitung eines Frühwarnsystems, bei dem die aktuellen Wetterdaten mit bekannten Szenarien verglichen werden, wäre so möglich.

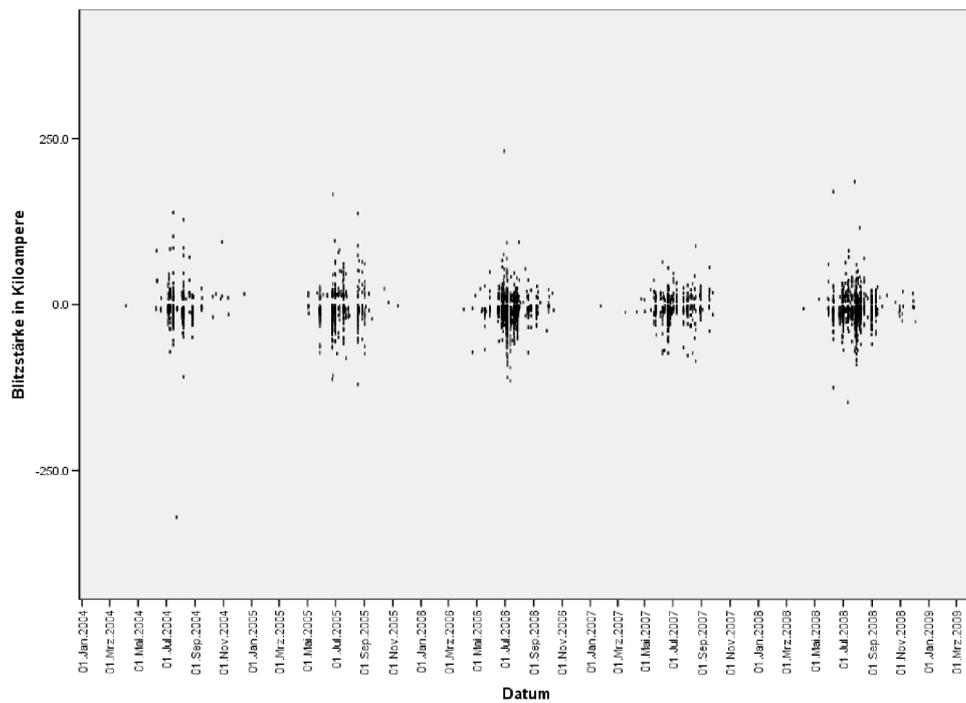


Abbildung 12.1: Blitzhäufigkeit nach Stärke und Datum. Quelle: Auswertung der Siemens Blitzstatistik

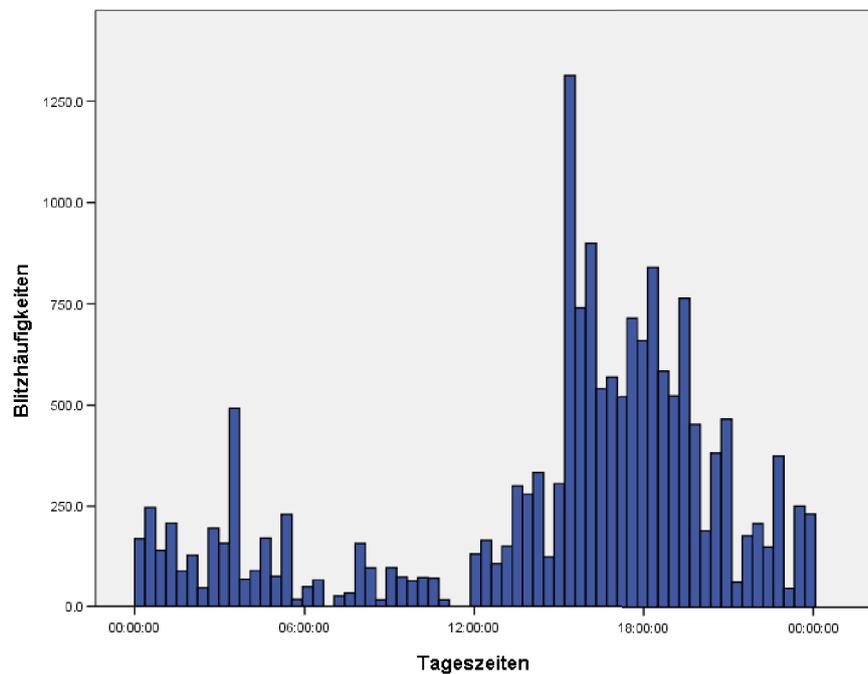


Abbildung 12.2: Blitzhäufigkeit im Tagesdurchschnitt. Quelle: Auswertung der Siemens Blitzstatistik

12.2.2 Klimawandel und Waldbrand

Klimaänderungen in der Schweiz

Klimaänderungen sind im Alpenraum besonders deutlich. Im Vergleich zum globalen Trend ist der Temperaturanstieg dort rund doppelt so stark. Die mittleren Temperaturen sind in der Schweiz seit 1970 um rund 1.5 °C angestiegen (globaler Temperaturanstieg liegt bei 0.8 °C). Bis 2100 muss mit einer Zunahme der Sommertemperatur von 3.5 bis 7 °C gerechnet werden, wobei ein durchschnittlicher Sommer etwa dem des Hitzesommers 2003 entspricht. Sommer werden zukünftig deutlich trockener, Winter hingegen feuchter (OcCC 2008, S. 5).

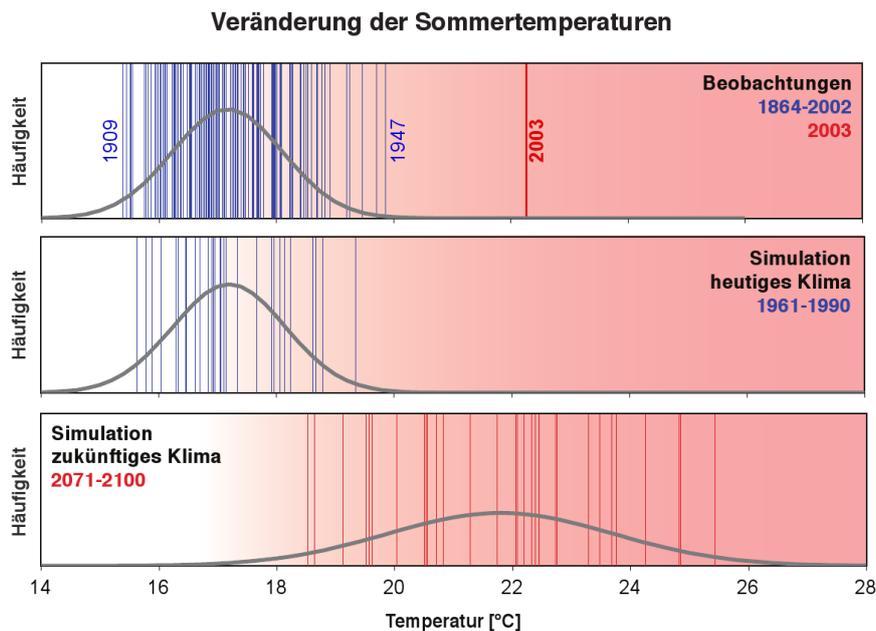


Abbildung 12.3: Sommertemperaturen im Klimawandel. Oben: Die beobachtete mittlere Sommertemperatur im schweizerischen Mittelland. Mitte/unten: Klimamodellrechnungen. In der Mitte sind Nachrechnungen aufgezeigt, unten wurden Projektionen für zukünftige Klima gemäss IPCC (UN-Klimabericht 2007) berechnet (OcCC 2008, S. 26).

Auswirkungen des Klimawandels auf Waldbrände

In der Schweiz wurden bisher kaum Modelle bzum Klimawandel und dessen Auswirkungen auf Waldbrände erstellt. Anders ist dies in den USA, wo auf die Erforschung von Waldbränden ein grösseres Augenmerk gelegt wird. Da im Westen der USA ähnliche Klimavorhersagen wie für die Schweiz gemacht wurden (mehr Winterniederschläge und wärmere Sommer) (Rapp 2004, S. 2), sind Forschungsergebnisse für den Westen der USA auch für die Schweiz interessant: Feuchtere Wintermonate fördern das Wachstum der Nadelwälder. Eine Folge davon ist eine Änderung der Waldgesellschaften und dadurch ein veränderter Anteil an Totholz. Hinzu kommen die trockenen Sommermonate, die wahrscheinlich vermehrt von Gewittern begleitet werden. Diese Faktorenkombination steigert

die Gefahr von natürlich verursachten Waldbränden erheblich (Rapp 2004, S. 2). Zudem können ausbleibende Niederschläge und niedrige relative Luftfeuchtigkeit sowie hohe Windgeschwindigkeiten die Gefahr durch Brände in einem Gebiet erhöhen. Ausbleibende Niederschläge und Feuchtedefizite können sich auch langfristig auf das Feuerregime auswirken (Conedera 2003, S. 58). Der Hauptakteur bei der Branderzeugung in unseren Breitengraden wird aber auch weiterhin der Mensch bleiben (Conedera 2003, S. 57–58). Doch wie wirkt sich diese Veränderung genau auf unseren Wald sowie die dabei vorhandenen Risiken aus? Müssen wir zukünftig unser Augenmerk mehr auf die Gefahr von Waldbränden richten oder bleibt dieses Naturereignis weiterhin im Schatten von anderen Ereignissen wie Lawinen, Hochwasser, Windwurf etc. stehen? Das Forschungsfeld Waldbrand ist und wird immer aktuell bleiben, denn die externen Umstände ändern sich ständig, was nur zur Faszination dieses Themas beiträgt!

Literaturverzeichnis

- Allgöwer, B. (2007), 'Fire – benefit or nuisance?', *Leopoldina Workshop. Univerisity of Göttingen* pp. 1–9.
- Apfelbaum, S. & Haney, A. (1981), 'Bird populations before and after wildfire in a great lakes pine forest', *The Cooper Ornithological Society Condor* **83**, 347–354.
- Arpaci, A., Zawila-Niedzwiecki, T. & Allgöwer, B. (2008), *Wildland Fire and Fuel Modelling in the Swiss National Park*, Contribution to YSC Davos 2008.
- Aus der Technik-Redaktion (2003), 'Blitzschutz – Allgemeine Grundsätze', *DIN EN 62305-1 Entwurf Teil 1*.
- Bachmann, A. (2001), *GIS-based Wildland Fire Risk Analysis*, Dissertation an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.
- Bahrenberg, G., Giese, E. & Nipper, J. (1999), *Statistische Methoden in der Geographie 1*, Teubner Studienbücher.
- Bärtsch, A. (1998), *Konzeption eines Waldbrandmanagements für die Region Engiadina Bassa/Val Müstair und den Schweizerischen Nationalpark*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich-Irchel.
- Bogner, A., Littig, B. & Menz, W. (2005), *Das Experteninterview - Theorie, Methode, Anwendung*, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Science und Business Media, Berlin.
- Böni, R., Bereiter, R., Baumann, D. & Bamer, R. (2005), *Pinus mugo*, Technical report, Hochschule Wädenswil (HSW).
- Bott, F. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 6. Januar 2009 betreffend Infrastruktur im SNP*, Mündliche Quelle, Zernez.
- Bradtka, J. (2006), 'Massiver Rückgang epiphytischer Flechten im Wirtschaftswald', *LWF aktuell* **53**, 18–19.
- Bur, M. (2006), *Verbrannt oder geschlagen?: eine Untersuchungsmethode zur Rekonstruktion der rezenten Feuer- und Holzschlaggeschichte der Wälder des Schweizerischen Nationalparks*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich-Irchel.

- Cazin, S. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 15. Januar 2009 betreffend Infrastruktur im SNP*, Mündliche Quelle, Zürich.
- Cherix, D. & Bernasconi, C. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 14. Januar 2009 betreffend wirbellose Tiere im SNP*, Mündliche Quelle, Lausanne.
- Conedera, M. (2003), *Extremereignisse und Klimaänderungen*, OcCC, chapter Waldbrände, pp. 57–60.
- Conedera, M. (2005), 'Erosion und Oberflächenabfluss nach Bränden', *Bündnerwald* **58**, **6**, 75–76.
- Duschletta, C. (2009), *Experteninterview im Januar 2009 betreffend Infrastruktur im SNP*, schriftliches Interview, Zernez.
- DWD Deutscher Wetterdienst (2007), *Hochspannung! Beim nächsten Gewitter wissen Sie, was da passiert!*, Deutscher Wetterdienst.
- Filli, F. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 6. Januar 2009 betreffend Infrastruktur im SNP*, Mündliche Quelle, Zernez.
- Filli, F., Haller, R., Moritzi, M., Negri, M., Obrecht, J.-M., Robin, K. & Schuster, A. (2000), *Die Singvögel im Schweizerischen Nationalpark: Verbreitung anhand GIS-gestützter Habitatmodelle*, Naturforschende Gesellschaft Graubünden. Herausgegeben in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Nationalpark.
- Geissler, P. & Hartmann, J. (2000), 'Vegetationsdynamik in einem 1951 abgebrannten Bergföhrenbestand', *Succession research in the Swiss National Park. Nationalparkforschung Schweiz* **89**, 107–129.
- Glade, T., Albini, T. & Frances, F. (2001), *The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessments*, The Academic Publishers, The Netherlands.
- González-Gabán, A., Loomis, J. B., Griffin, D., Wu, E., McCollum, D., McKeever, J. & Freeman, D. (2003), *Economic Value of Big Game Habitat Production from Natural and Prescribed Fire*, Pacific Southwest Research Station.
- Gorte, R. W. (2006), *Forest Fire/Wildfire Protection*, Congressional Research Service - The Library of Congress.
- Grubel, J. (2009), 'More than 100 people fled new Australian bushfires', *International Herald Tribune, The global edition of the New York Times Asia&Pacific*, 23. Februar 2009.
- Hartmann, J. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 16. Januar 2009 betreffend Geobotanik im SNP*, Mündliche Quelle, Chur.
- Harvey, S. (1996), *Brandgutdaten in der Waldbrandmodellierung*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich–Irchel.

- Heikkil, T. V., Grnoqvist, R. & Jurvelius, M. (2007), *Wildland Fire Management: Handbuch for Trainers*, Ministry for Foreign Affairs of Finland.
- Heinz, J. (2008), *The State of the Nation's Ecosystems 2008, Measuring the Land, Waters, and Living Resources of The United States*, Center for Science, Economics, and the Environment.
- Hollenstein, K. (1997), *Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken*, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Keller, V., Zbinden, N., Schmid, H. & Volet, B. (2001), *Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz - Brutvögel*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Kennard, D. (2008), 'Forest Encyclopedia Network', <http://www.forestencyclopedia.net/>. Zugriff: 24. Februar 2009.
- Kötz, B. (2006), *Estimating Biophysical and Biochemical Properties over Heterogeneous Vegetation Canopies Radiative Transfer Modeling in Forest Canopies Based on Imaging Spectrometry and LIDAR*, Dissertation an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.
- Kyle, S. C. & Block, W. M. (2000), 'Effects of wildfire severity on small mammals in northern Arizona ponderosa pine forests', *Fire and forest ecology: innovative silviculture and vegetation management. Tall Timbers Fire Ecology Conference Proceedings No. 21*, 163–168.
- Langhart, R. (1999), *Zeitliche und räumliche Charakterisierung von Waldbrandherden im Kanton Graubünden*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich–Irchel.
- Leser, H., Haas, H.-D., Mosimann, T., Paesler, R. & Huber-Fröhli, J. (2001), *Wörterbuch Allgemeine Geographie*, Diercke.
- Lotz, A. (2006), *Alpine Habitat Diversity, Project Report 2002–2006, EU Community Initiative INTERREG III B Alpine Space Programm*, Nationalparkverwaltung Berchtesgaden.
- Lüscher, P. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 13. Januar 2009 betreffend Boden im SNP*, Mündliche Quelle, Birmensdorf.
- Maissen, U. & Weidmann, M. (1999), 'Wenn Feuer Wälder fressen, Waldbrände in Graubünden', *Amt für Wald Graubünden Zweite Auflage*, 1–4.
- Matteson, M. (2006), *Wildfire - A Century of Failed Forest Policy*, Island Press, chapter A Spiral Dance - The Necessity of Fire to Wildness, pp. 9–11.
- Meier, C. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 6. Januar 2009 betreffend Avifauna im SNP*, Mündliche Quelle, Malans.

- Missoula Fire Sciences Laboratory (2008), 'Farsite, firemodels.org, fire behavior and fire danger software', <http://www.firemodels.org/content/view/112/143/>. Zugriff: 26.03.2009.
- Monmonier, M. (1991), *How to Lie with Maps*, The University of Chicago Press, Chicago and London.
- Moretti, M. & Barbalat, S. (2004), 'The effects of wildfires on wood-eating beetles in deciduous forests on the southern slope of the Swiss Alps', *Forest Ecology and Management Elsevier* **187**, 85–103.
- Moretti, M., Conedera, M. & Duelli, P. (2001), 'Grosse Dynamik nach Waldbränden auf der Alpensüdseite', *Informationsblatt Forschungsbereich Wald, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf* **7**, 1–3.
- Moretti, M., Obristand, M. K. & Duelli, P. (2004), 'An arthropod biodiversity of forest fires: Winners and losers in the winter fire regime of the southern alps', *Ecography* **27**, 173–186.
- Morsdorf, F. (2006), *LIDAR Remote Sensing for Estimation of Biophysical Vegetation Parameters*, Dissertation an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.
- Moser, B., Gimmi, U. & Wohlgemuth, T. (2006), 'Ausbreitung des Erdbeerspinats *Blitum virgatum* nach dem Waldbrand von Leuk, Wallis (2003)', *Botanica Helvetica* **116**, 179–207.
- Müller, J. P. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 16. Januar 2009 betreffend Kleintiere im SNP*, Mündliche Quelle, Chur.
- National Wildfire Coordinating Group, NWCG (1992), *Glossary of wildland fire terminology*, National Interagency Fire Center, Boise, ID.
- National Wildfire Coordinating Group (NWCG) (2003), 'Glossary of wildland fire terminology', <http://www.nwcg.gov/pms/pubs/glossary>.
- Nationalparkgesetz (1980), Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, in 'Bundesgesetz über den Schweizerischen Nationalpark im Kanton Graubünden', Bund.
- NOAA's National Weather Service Regional Office (2007), 'Lightning and Wildfires', <http://www.crh.noaa.gov>. Zugriff: 17.02.2009.
- OcCC (2008), 'Das Klima ändert sich - was nun?', *Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. Bern* **47**, 1–52.
- Ott, M. (1995), *Besuch und BesucherInnen des Schweizerischen Nationalparks*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich–Irchel.

- Pfahl, S. (2007), *Automatische Blitzerfassung bei MeteoSchweiz*, MeteoSchweiz Data Warehouse System.
- Prestemon, J. P., Mercer, D. E. & Pye, J. M. (2008), 'Natural Disturbance Production Functions', *Forestry Sciences* **79**, 35–58.
- Pyne, S. J., Andrews, P. L. & Laven, R. D. (1996), *Introduction to Wildland Fire*, John Wiley & Sons, INC., New York, USA.
- Rapp, V. (2004), 'Western forests, fire risk, and climate change', *Science Update* **6**, 1–12.
- Robin, K. (2004), *Wanderführer durch den Schweizerischen Nationalpark*, Eidgenössische Nationalparkkommission ENPK.
- Romagni, J. G. & Gries, C. (2000), 'Post-fire recolonization of dominant epiphytic lichen species on quercus hypoleucoides (Fagaceae)', *American Journal of Botany* **87**(12), 1815–1820.
- Rorig, M., Ferguson, S., Werth, P. & Goodrick, S. (2005), Predicting lightning risk, in 'Final Report for the Joint Fire Sciences Program'.
- Rorig, M. L. & Ferguson, S. A. (2002), 'The 2000 Fire Season: Lightning-Caused Fires', *Journal of applied Meteorology* **41**, 786–791.
- Scheidegger, C. (2008), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 17.12.2008 betreffend Flechten im SNP*, Mündliche Quelle, Zürich.
- Scheidegger, C. & Clerce, P. (2002), *Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz: Baum- und erdbewohnende Flechten*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf und Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Geneve.
- Schöning, R. (1996), *Modellierung des potentiellen Waldbrandverhaltens mit einem geographischen Informationssystem*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich–Irchel.
- Schütz, M. (2009), *Experteninterview mit Marianne Bosshard vom 13. Januar 2009 betreffend Flora im SNP*, Mündliche Quelle, Chur.
- Schweizerischer Nationalpark SNP (2000), 'Es brennt im Schweizerischen Nationalpark – was nun?'. In Zusammenarbeit mit Wildland Fire Research Group, Geographisches Institut Universität Zürich und GVA Feuerpolizeiamt Graubünden.
- Schweizerischer Nationalpark SNP (2008), 'Digitaler Wanderführer', <http://www.nationalpark.ch/snp.html>. Zugriff: 26.03.2009.
- Siemens AG (2007), 'BLIDS, BLitz InformationsDienst von Siemens AG', www.blids.de. Zugriff: 16.02.2009.

- Sierro, A. & Posse, B. (2008), 'Waldbrand von Leuk: Paradies oder Wüste für die Vögel?', *fauna.vs info* **13**, 6.
- Smith, N. R., Kishchuk, B. E. & Mohn, W. W. (2008), 'Effects of Wildfire and Harvest Disturbances on Forest Soil Bacterial Communities', *Applied and Environmental Microbiology* **74**, No. 1, 216–224.
- SQS, Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme (2006), *Risiko-management*, Schweizerische Vereinigung für Qualitäts- und Management-Systeme. Zollikofen.
- Stähli, M. (2004), *Holozäne Feuergeschichte und Feuerökologie des Schweizerischen Nationalparks*, Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich–Irchel.
- Stähli, M., Finsinger, W., Tinner, W. & Allgöwer, B. (2006), 'Wildfire history and fire ecology of the Swiss National Park (Central Alps): New evidence from charcoal, pollen and plant macrofossils', *The Holocene* **16**, 6, 805–817.
- Tinner, W. (2005), *Menschliche Aktivitäten, klimatische Schwankungen und Veränderungen der Vegetation*, Geoscience Meeting.
- UNESCO (2009), 'Schweizerischer Nationalpark', <http://www.unesco.ch/die-unesco-und-die-schweiz/biosphaeren-in-der-schweiz/schweizerischer-nationalpark.html>. Zugriff: 25.02.2009.
- Vogel, M., Plassmann, G. & Lotz, A. (2006), *HabitAlp – Erfolgsgeschichte alpenweiter Zusammenarbeit*, Nationalparkverwaltung Berchtesgaden, E.C.O. Institut für Ökologie.
- Wade, M. E., Raish, C. & Kent, B. (2008), *Wildfire Risk: Human Perceptions and Management Implications*, Washington DC.
- Weibel, R. & Purves, R. (2005), 'Using spatial analysis in decision making – techniques for spatial data analysis', *Vorlesung GEO 315.1 „Vertiefung Geographische Informationswissenschaft“ WS 2005/06*, Woche 7.
- Wohlgemuth, T., Duelli, P., Ginzler, C., Gödickemeier, I., Hadorn, S., Hagedorn, F., Küttel, P., Lüscher, P., Moretti, M., Schneiter, G., Sciacca, S. & Wermelinger, B. (2005), 'Ökologische Resilienz nach Feuer: Die Waldbrandfläche Leuk als Modellfall', *Schweiz. Z. Forstwesen* **156/9**, 345–352.
- Zebehazy, L. A., Lanham, J. D. & Waldrop, T. A. (2004), 'Seasonal Avifauna Responses to Fuel Reduction Treatments in the Upper Piedmont of South Carolina: Results From Phase 1 of the National Fire and Fire Surrogate Study', *Gen. Tech. Rep. Asheville, NC. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station SRS-71*, 82–86.
- Zürich Versicherung (2007), *Risk Management für Unternehmen - Überlassen Sie nichts dem Zufall*, Zürcher Versicherungs-Gesellschaft.

Teil VI
Anhang

Anhang A

Experteninterviews

Experten

Experte	Fachgebiet
Christian Bernasconi, Universität Lausanne	Ameisenspezialist
Fadri Bott, Val Müstair und Schweizerischer Nationalpark	Feuerwehr und Parkwächter
Sonja Cazin, Wirtin des Hotels Il Fuorn, SNP	Infrastruktur
Prof. Dr. Daniel Cherix, Universität Lausanne	Spinnen- und Ameisenspezialist
Dumeng und Claudia Duschetta, Wirte der Chuzza-Hütte, SNP	Infrastruktur
Dr. Flurin Filli, Schweizerischer Nationalpark	Leiter Bereich Forschung im SNP
Dr. Josef Hartmann, Amt für Natur und Umwelt, Chur	Geobotanik
Dr. Peter Lüscher, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf	Bodenspezialist
Dr. Christoph Meier, Ornithologische Arbeitsgruppe Graubünden	Avifauna-Spezialist
Dr. Jürg Paul Müller, Bündner Naturmuseum, Chur	Kleinsäugerspezialist
Prof. Dr. Christoph Scheidegger, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf	Flechtenspezialist
Dr. Martin Schütz, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf	Disturbance Dynamics

Table A.1: Experten, mit denen ein Interview durchgeführt werden durfte.

Fragebogen für Expertenbefragung

Waldbrand – Was nun?

Thema: Flora

Interview-Nr.:

Experte:

Funktion:

Datum:

Adresse:

Befragt durch:

- Frage 1 Welchen Bezug haben Sie zum SNP?
- Frage 2 Was bedeutet es für Sie generell, wenn der Wald brennt?
- Frage 3 Welches sind die Auswirkungen eines Waldbrandes auf die Flora?
- Frage 4 Gibt es Pflanzen im SNP, die bei einem Waldbrand besonders gefährdet sind und warum?
- Frage 5 Können diese Pflanzen einem bestimmten Gebiet im SNP zugeordnet werden oder kommen diese an bestimmten Orten vor (Osthängen)? (Karte)
- Frage 6 Welche Pflanzen können durch einen Waldbrand profitieren und warum?
- Frage 7 Können diese Pflanzen auch wieder einem bestimmten Gebiet zugeordnet werden? (Karte)
- Frage 8 Zum Schutz von gefährdeten und bedrohten Pflanzen wurden rote Listen erstellt, auch in der Schweiz. Wissen Sie, ob es im SNP Pflanzen sind, denen gemäss dieser roten Liste besonderen Schutz zusteht.
- Frage 9 Können diese Pflanzen in bestimmte Gebiete zugeordnet werden? (Karte)
- Frage 10 Wie wirken sich unterschiedliche Feuerintensitäten aus?
- Frage 11 Überwiegen die positiven oder die negativen Effekte
a) bei schwachen Feuerintensitäten (z.B. Lauffeuer)?
b) bei starken Feuerintensitäten (z.B. Kronenfeuer)?

Frage 12 Sie treffen auf einen natürlich verursachten Waldbrand. Was würden Sie tun?

Frage 13 Die Risikokarte wird anhand einer Karte über das Gebiet des SNPs dargestellt. Nun stellt sich die Frage, welche Abstufungen die Risikoklassen haben sollen. Würden Sie 3 oder 5 Stufen bevorzugen oder haben Sie noch einen anderen Vorschlag für eine sinnvolle Abstufung?

3-stufige Skala (wie bei Gefahrenkarten)

- Hohes Risiko (z.B. rot)
- Mittleres Risiko (z.B. orange)
- Geringes Risiko (z.B. Grün)

5-stufige Skala (wie beim Lawinenbulletin))

- Sehr grosses Risiko (z.B. rot-schwarz kariert)
- Grosses Risiko (z.B. rot)
- Erhebliches Risiko (z.B. orange)
- Mässiges Risiko (z.B. gelb)
- Geringes Risiko (z.B. hellgrün)

Frage 14 Wie würden Sie die 'indirekten Stakeholder' (Vertreter von Flora, Fauna und Boden) benennen?

Fragebogen für Expertenbefragung

Waldbrand – Was nun?

Thema: Fauna

Interview-Nr.:

Experte:

Funktion:

Datum:

Adresse:

Befragt durch:

- Frage 1 Welchen Bezug haben Sie zum SNP?
- Frage 2 Was bedeutet für Sie generell, wenn der Wald brennt?
- Frage 3 Welches sind die Auswirkungen eines Waldbrandes auf die XY-Tiere?
- Frage 4 Gibt es XY-Tiere im SNP, die bei einem Waldbrand besonders gefährdete sind und warum?
- Frage 5 Können diese XY-Tiere einem bestimmten Gebiet im SNP zugeordnet oder kann ihr Habitat beschrieben werden? (Karte)
- Frage 6 Welche XY-Tiere können durch einen Waldbrand profitieren und warum?
- Frage 7 Können diese XY-Tiere auch wieder einem bestimmten Gebiet zugeordnet oder kann ihr Habitat beschrieben werden? (Karte)
- Frage 8 Zum Schutz von gefährdeten und bedrohten Tieren wurden rote Listen erstellt, auch in der Schweiz. Wissen Sie, ob es im SNP XY-Tiere sind, denen gemäss dieser roten Liste besonderen Schutz zusteht.
- Frage 9 Können diese XY-Tiere in bestimmte Gebiete zugeordnet oder ihr Habitat beschrieben werden? (Karte)
- Frage 10 Wie wirken sich unterschiedliche Feuerintensitäten aus?
- Frage 11 Überwiegen die positiven oder die negativen Effekte
a) bei schwachen Feuerintensitäten (z.B. Lauffeuer)?

b) bei starken Feuerintensitäten (z.B. Kronenfeuer)?

Frage 12 Sie treffen auf einen natürlich verursachten Waldbrand. Was würden Sie tun?

Frage 13 Die Risikokarte wird anhand einer Karte über das Gebiet des SNPs dargestellt. Nun stellt sich die Frage, welche Abstufungen die Risikoklassen haben sollen. Würden Sie 3 oder 5 Stufen bevorzugen oder haben Sie noch einen anderen Vorschlag für eine sinnvolle Abstufung?

3-stufige Skala (wie bei Gefahrenkarten)

- Hohes Risiko (z.B. rot)
- Mittleres Risiko (z.B. orange)
- Geringes Risiko (z.B. Grün)

5-stufige Skala (wie beim Lawinenbulletin)

- Sehr grosses Risiko (z.B. rot-schwarz kariert)
- Grosses Risiko (z.B. rot)
- Erhebliches Risiko (z.B. orange)
- Mässiges Risiko (z.B. gelb)
- Geringes Risiko (z.B. hellgrün)

Frage 14 Wie würden Sie die 'indirekten Stakeholder' (Vertreter von Flora, Fauna und Boden) benennen?

Fragebogen für Expertenbefragung

Waldbrand – Was nun?

Thema: Boden

Interview-Nr.:

Experte:

Funktion:

Datum:

Adresse:

Befragt durch:

- Frage 1 Welchen Bezug haben Sie zum SNP?
- Frage 2 Was bedeutet es, wenn der Wald brennt?
- Frage 3 Welches sind die Auswirkungen eines Waldbrandes auf den Boden? (Bodenerosion)
- Frage 4 Gibt es besonders gefährdete Böden im SNP und warum?
- Frage 5 Können diese Böden einem bestimmten Gebiet im SNP zugeordnet werden? (Karte)
- Frage 6 Welche Böden können durch einen Waldbrand profitieren und warum?
- Frage 7 Können diese Böden auch wieder einem bestimmten Gebiet zugeordnet werden? (Karte)
- Frage 8 Böden können durch Waldbrände Wasser undurchlässig werden und dadurch grosse erosive Auswirkungen haben. Kann dieses Naturereignis auch im SNP vorkommen und wie würde sich dies auswirken?
- Frage 9 Welche Gebiete wären dadurch vor allem betroffen? (Karte)
- Frage 10 Wie wirken sich unterschiedliche Feuerintensitäten aus?
- Frage 11 Überwiegen die positiven oder die negativen Effekte
a) bei schwachen Feuerintensitäten (z.B. Lauffeuer)?
b) bei starken Feuerintensitäten (z.B. Kronenfeuer)?
- Frage 12 Sie treffen auf einen natürlich verursachten Waldbrand. Was würden Sie tun?

Frage 13 Die Risikokarte wird anhand einer Karte über das Gebiet des SNPs dargestellt. Nun stellt sich die Frage, welche Abstufungen die Risikoklassen haben sollen. Würden Sie 3 oder 5 Stufen bevorzugen oder haben Sie noch einen anderen Vorschlag für eine sinnvolle Abstufung?

3-stufige Skala (wie bei Gefahrenkarten)

- Hohes Risiko (z.B. rot)
- Mittleres Risiko (z.B. orange)
- Geringes Risiko (z.B. Grün)

5-stufige Skala (wie beim Lawinenbulletin)

- Sehr grosses Risiko (z.B. rot-schwarz kariert)
- Grosses Risiko (z.B. rot)
- Erhebliches Risiko (z.B. orange)
- Mässiges Risiko (z.B. gelb)
- Geringes Risiko (z.B. hellgrün)

Frage 14 Wie würden Sie die 'indirekten Stakeholder' (Vertreter von Flora, Fauna und Boden) benennen?

Fragebogen für Expertenbefragung

Waldbrand – Was nun?

Thema: Infrastrukturen

Interview-Nr.:

Experte:

Funktion:

Datum:

Adresse:

Befragt durch:

- Frage 1 Welchen Bezug haben Sie zum SNP?
- Frage 2 Was bedeutet es für Sie generell, wenn der Wald brennt?
- Frage 3 Welches sind die Auswirkungen eines Waldbrandes?
- Frage 4 Gibt es Einrichtungen im SNP, welche bei einem Waldbrand besonders gefährdet sind und warum?
- Frage 5 Wo befinden sich diese Einrichtungen? (Karte)
- Frage 6 Gibt es besondere Schutzmassnahmen für diese Infrastrukturen?
- Frage 7 Werden auch sekundäre Effekte, wie z.B. Hangrutschungen oder Erhöhung der Lawinengefahr berücksichtigt?
- Frage 8 Gäbe es zusätzliche Möglichkeiten diese zu schützen?
- Frage 9 Müssen alle Infrastrukturen gleich geschützt werden oder werden im Notfall Prioritäten gesetzt?
- Frage 10 Wird bei den Schutzmassnahmen unterschiedliche Feuerintensitäten berücksichtigt?
- Frage 11 Sie treffen auf einen natürlich verursachten Waldbrand. Was würden Sie tun?
- Frage 12 Die Risikokarte wird anhand einer Karte über das Gebiet des SNPs dargestellt. Nun stellt sich die Frage, welche Abstufungen die Risikoklassen haben sollen. Würden Sie 3 oder 5 Stufen bevorzugen oder haben Sie noch einen anderen Vorschlag für eine sinnvolle Abstufung?

3-stufige Skala (wie bei Gefahrenkarten)

- Hohes Risiko (z.B. rot)
- Mittleres Risiko (z.B. orange)
- Geringes Risiko (z.B. Grün)

5-stufige Skala (wie beim Lawinenbulletin)

- Sehr grosses Risiko (z.B. rot-schwarz kariert)
- Grosses Risiko (z.B. rot)
- Erhebliches Risiko (z.B. orange)
- Mässiges Risiko (z.B. gelb)
- Geringes Risiko (z.B. hellgrün)

Frage 13 Wie würden Sie die 'indirekten Stakeholder' (Vertreter von Flora, Fauna und Boden) benennen?

Anhang B

Studienresutalte von Rahel Langhart

B.1 Natürlich verursachte Waldbrände

<i>Natürliche Ursachen</i>	<i>Erhöhte Wahrscheinlichkeit</i>	<i>Mittlere Wahrscheinlichkeit</i>	<i>Geringe Wahrscheinlichkeit</i>
Tagesverlauf	Später Nachmittag, früher Abend (ca. 16 ⁰⁰ -20 ⁰⁰ Uhr)	Tagsüber, Abend	Nachts (ca. 22 ⁰⁰ -10 ⁰⁰ Uhr)
Wochenverlauf	Kein Trend	Kein Trend	Kein Trend
Jahresverlauf	Sommer (Juni - August)	Herbst	Winter, Frühling
Räumlich, Grossregion	Südtirol	Engadin	Nord- und Mittelbünden
Räumlich, Forstkreis	Misox, Calancatal, Münsiertal Region Trun	Hinterrhein, Unterengadin, Bergell	Übrige Regionen und Forstkreise
Distanzen zu Strassen	Kein Trend	Kein Trend	Kein Trend
Distanzen zu Siedlungen	Kein Trend	Kein Trend	Kein Trend
Höhenlage	1250 - 2000 M. u. M.	< 1250 M. u. M.	> 2000 M. u. M.
Exposition	Kein Trend	Kein Trend	Kein Trend
Hangneigung	> 30°	15 - 30°	< 15°
Wetterdaten	Warme Temperaturen, Trockenheit, Gewitter	Kühle Temperaturen, Gewitter	Nasses, kaltes Wetter
Witterungslagen	Hoch-, Flachdrucklagen	-	Alle anderen Lagen
Feuerwetterindizes	Drought-Code gegenüber den langjährigen Mittelwerten erhöht	-	Drought-Code gegenüber den langjährigen Mittelwerten erniedrigt

B.2 Menschlich verursachte Waldbrände

<i>Menschliche Ursachen</i>	<i>Erhöhte Wahrscheinlichkeit</i>	<i>Mittlere Wahrscheinlichkeit</i>	<i>Geringe Wahrscheinlichkeit</i>
Tagesverlauf	Nachmittag (ca. 14 ⁰⁰ -16 ⁰⁰ Uhr)	Mittag, früher Abend (ca. 10 ⁰⁰ -14 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰ -20 ⁰⁰ Uhr)	Abend, Nacht, früher Morgen (ca. 20 ⁰⁰ -10 ⁰⁰ Uhr)
Wochenverlauf	Wochenende (Fahrlässigkeit)	Mitte Woche (Militär)	Anfang Woche (Montag, Dienstag)
Jahresverlauf	Kurz nach der Schneeschmelze (März, April)	Sommer, Herbst (Mai - November)	Winter (Dezember, Januar, Februar)
Räumlich, Grossregion	Nordbünden, Südtäler	Mittelbünden	Engadin
Räumlich, Forstkreis	Nordwestlicher Kantonsrand, Hinterrhein	Südtäler, Oberengadin	Mittelbünden, Prättigau, Unterengadin
Distanzen zu Strassen	0 - 200 Meter /	200 - 600 Meter	> 600 Meter
Distanzen zu Siedlungen	0 - 2 Kilometer	2 - 7 Kilometer	> 7 Kilometer
Höhenlage	< 1250 M. ü. M.	1250 - 2000 M. ü. M.	> 2000 M. ü. M.
Exposition	Südost - West	Nordwest, Ost	Nord, Nordost, Ebene Fläche
Hangneigung	Kein Trend	Kein Trend	Kein Trend
Wetterdaten	Alle Temperaturen, Trockenheit	Feuchtes Wetter	Nasses, kaltes Wetter
Witterungslagen	Hoch-, Flachdrucklagen	Süd-, Nord-, West-, Mischlagen	Ost-, Tiefdrucklagen
Feuerwetterindizes	Drought-Code gegenüber den lang- jährigen Mittelwerten erhöht	-	Drought-Code gegenüber den lang- jährigen Mittelwerten erniedrigt (im Sommer und im Herbst)

Anhang C

Studienresutalte von Manuel Ott

C.1 Wegfrequentierung

Teilgebiet=Minger

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
101	29	123	23 %	78	185
102	29	122	23 %	78	184
103	29	116	25 %	71	167
104	29	97	29 %	62	139
105	29	73	39 %	50	106

Teilgebiet=Grimmels

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
201	25	89	28 %	72	111
202	25	79	31 %	58	97
203	39	83	46 %	60	105
204	39	108	36 %	69	133
205	39	133	29 %	101	180
206	22	128	17 %	70	177
207	22	39	56 %	22	50
208	16	50	32 %	26	65
209	5	5	100 %	4	8

Teilgebiet=Botsch/Stabelchod

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
301	39	39	100 %	26	49
302	56	157	35 %	112	201
303	56	150	37 %	108	189
304	56	126	44 %	79	161
305	10	14	71 %	10	25
306	51	117	43 %	67	150
307	51	175	29 %	127	237
308	51	250	20 %	184	329
309	31	216	14 %	160	275
310	42	170	24 %	115	265

Teilgebiet=Spoel

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
401	31	52	59 %	38	88
402	32	44	72 %	27	69
403	14	26	53 %	20	35
404	14	25	56 %	18	33
405	14	19	73 %	13	28
406	15	17	88 %	7	28
407	0	2	0 %	0	5
408	22	22	100 %	9	38
409	22	22	100 %	9	38
410	1	1	100 %	0	4

Teilgebiet=Schera

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
502	87	135	64 %	110	174
503	87	119	73 %	96	156
504	87	111	78 %	87	145
505	78	83	93 %	51	110
506	3	27	11 %	9	34
507	3	24	12 %	17	31
508	78	82	95 %	67	98
510	0	56	0 %	41	75
512	19	24	79 %	15	34
513	14	18	77 %	13	35

Teilgebiet=Murtaroel/Cluozza

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
602	34	56	60 %	37	73
603	34	51	66 %	36	60
604	34	44	77 %	34	49
605	22	23	95 %	10	39
606	7	8	87 %	4	14
607	7	8	87 %	3	14
608	7	7	100 %	3	13
609	0	0	.	0	1
610	0	0	.	0	0
621	0	22	0 %	8	42
622	0	16	0 %	7	27
623	0	11	0 %	6	19
624	0	8	0 %	5	12
625	0	22	0 %	8	42
626	0	16	0 %	7	27
627	0	11	0 %	6	19
628	0	8	0 %	5	12

Teilgebiet=Trupchun

Wegabschnitt (Code)	sichere Min.freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Durchschn. der 4 Tg.	Anteil sich.Freq. Durchschn. der 4 Tg.	plausible Freq. Minimum der 4 Tg.	plausible Freq. Maximum der 4 Tg.
702	297	297	100 %	209	359
703	7	7	100 %	3	13
704	0	289	0 %	196	357
705	0	285	0 %	186	357
706	0	500	0 %	318	663
707	0	70	0 %	64	80
708	0	225	0 %	136	313
709	0	232	0 %	136	321
710	0	0	.	0	2
711	231	231	100 %	134	322

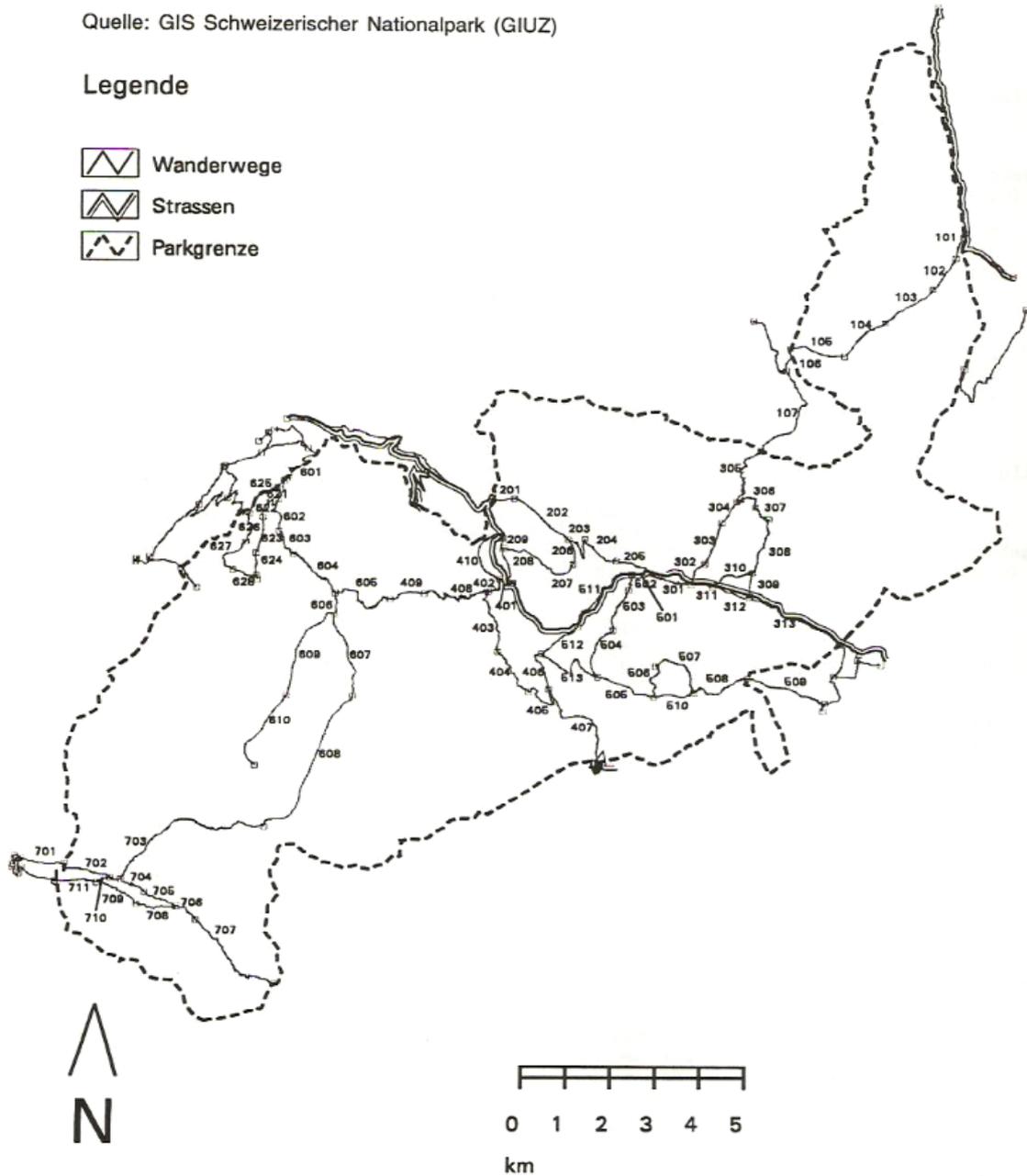
C.2 Übersichtskarte der Wegabschnitte

Abschnitte des Wanderwegenetzes im Nationalpark

Quelle: GIS Schweizerischer Nationalpark (GIUZ)

Legende

-  Wanderwege
-  Strassen
-  Parkgrenze



Anhang D

Verwendete Daten

D.1 Dokumentationsliste der Daten auf der DVD

Diese Zusammenstellung soll einen Überblick über die GIS-Datensätze auf der DVD der Masterarbeit von Marianne Bosshard (April 2009) geben. Die Datensätze sind mit Metadaten versehen, die das Anwenden dieser vereinfachen soll.

Die Daten im Ordner **Raumdaten_GIS_SNP** wurden vom Schweizerischen Nationalpark mit freundlicher Genehmigung zur Verfügung gestellt. Die Blitzdaten im Ordner **Blitzstatistik** wurden von Siemens AG für diese Arbeit generiert und freundlicherweise zur Benützung freigegeben.

Auswirkungen

ameisen, Rasterdatensatz

Gebiet im SNP, in dem möglicherweise eine neue Ameisenart entdeckt wurde (Interview mit Herrn Bernasconi und Herrn Prof. Dr. Cherix).

auerhuhn, Rasterdatensatz

Gebiet im SNP, in dem das Auerhuhn sein Rückzugsgebiet hat (Interview mit Herrn Dr. Meier).

auswirku_recl, Rasterdatensatz

Reklassifizierung des Resultats der Auswirkungen (auswirku_unkl) auf 5 Stufen.

auswirku_unkl, Rasterdatensatz

Resultat der Auswirkungen unklassiert. Addition aller Layer mit folgenden Ausgangswerten:

Gewichtungsstufe 5: schutzw_str und schutzw_unter

Gewichtungsstufe 2: ameisen, auerhuhn und flechten

Gewichtungsstufe 1: wald_snp

flechten, Rasterdatensatz

Gebiet im SNP, in dem gefährdete oder spezielle Flechten auftreten (Interview mit Herrn Prof. Dr. Scheidegger).

wald_snp, Rasterdatensatz

Waldgebiete im Schweizerischen Nationalpark.

schutzw_str, Rasterdatensatz

Schutzwälder im Gebiet des SNPs, welche die Strassen vor Sekundäreffekten (wie z.B. Lawinen, Rutschungen, Murgänge etc.) schützen (Interview mit Herrn Dr. Filli, Herrn Bott, Frau Cazin und Fam. Duschletta).

schutzw_unter, Rasterdatensatz

Schutzwälder im Gebiet des SNPs, welche die Unterkünfte, Hotel Il Fuorn und Cluozzahütte, vor Sekundäreffekten (wie z.B. Lawinen, Rutschungen, Murgänge etc.) schützen (Interview mit Herrn Dr. Filli, Herrn Bott, Frau Cazin und Fam. Duschletta).

Eintrittswahrscheinlichkeit**Anthropogen** (Unterordner)**bushaltestell**, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers bei Bushaltestellen (an der Bushaltestelle ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 200 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

w_anth_gew, Rasterdatensatz

Resultat der Addition aller Layer, welche für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände erstellt wurden. Die Addition erfolgte anhand einer Gewichtung der Layer.

Doppelte Gewichtung der folgenden Layer: strassen, unterkuenfte, parkplaetze, bushaltestell und wegfrequent

Einfache Gewichtung der folgenden Layer: wanderwege, rastplaetze, infotafeln und lichtungen

Halbe Gewichtung der folgenden Layer: exposition und waldgesell

ew_anth_ungew, Rasterdatensatz

Resultat der Addition aller Layer, welche für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit anthropogener Waldbrände erstellt wurden. Die Addition erfolgt ohne eine Gewichtung der Layer.

exposition, Rasterdatensatz

Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Waldbrandes anhand der Exposition

Stufe 5 = 123,75°–281,25°

Stufe 4 = 101,25°–123,75° und 281,25°–303,75°

Stufe 3 = 78,75°–101,25° und 303,75°–326,25°

Stufe 2 = 56,25°–78,75° und 326,25°–348,75°

Stufe 1 = 0,00°–56,25° und 348,75°–360,00°

infotafeln, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers bei Informationstafeln (an Informationstafel ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 100 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

lichtungen, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers bei Weglichtungen (an Lichtungen ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 100 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

parkplaetze, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers bei Parkplätzen (auf Parkplätze ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 200 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

rastplaetze, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers bei Rastplätzen (auf Rastplätzen ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 100 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

strassen, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers entlang von Hauptstrassen (auf der Hauptstrasse ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 20 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

unterkuenfte, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers bei Unterkünften (bei Unterkünften ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 200 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

waldgesellsch, Rasterdatensatz

Einteilung der Waldgesellschaften in verschiedene Gefahrenstufen gemäss den nachgewiesenen Feuerfrequenzen:

Stufe 5 = Legföhrenwälder
 Stufe 4 = Bergföhrenwälder
 Stufe 3 = Fichtenwälder
 Stufe 1 = Mischwälder

wanderwege, Rasterdatensatz

Aufzeigen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines anthropogenen Feuers entlang von Wanderwegen (auf Wanderwegen ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Waldbrandes sehr hoch (Wert 5), je weiter entfernt, umso geringer ist die Eintrittswahrscheinlichkeit (exponentielle Abnahme bis ca. 100 m auf den Wert 0.1, danach beträgt der Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit über den gesamten Layer 0.1)).

wegfrequent, Rasterdatensatz

Einteilung der Gebiete in 5 Stufen anhand deren Wegfrequentierung:

Stufe 5 = Val Trupchun
 Stufe 4 = Val dal Botsch und Val da Stabelchod
 Stufe 3 = Val MingÄ`r und Grimmels
 Stufe 2 = Alp la Schera
 Stufe 1 = Murtaröl, Val Cluozza, Val Spöl und Macun

Exponentielle Abnahme der Gefahrenstufe von den Wegen her bis ca. 100 m Entfernung, danach gesamter Layer mit dem Wert 0.1 versehen.

Natuerlich (Unterodner)

Blitzstatistik (Unterordner)

Blitze_04_08, Datenbankformat (dbt)
 Blitzstatistik (Blitze_2004-2008)

Blitze_2004-2008, xml-Daten
 (gehört zu Blitze_04_08)

Blitze_2004-2008.xls, Excel-Datei
 Daten der Blitzstatistik aus den Jahren 2004 bis 2008 über das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks.

blitze_z_werte, Vektordatensatz (Punkt)

Eingelesene Blitzstatistik mit zusätzlichen z-Werten (Höhenwerte der Blitzeinschlagsorte).

blitzverteilung, Vektordatensatz (Punkt)

Eingelesene Blitzstatistik

ew_nat_ungew, Rasterdatensatz

Resultat der Addition der Layer, welche für die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit natürlich verursachter Waldbränden erstellt wurden. Die Addition erfolgt ohne eine Gewichtung der Layer.

Layer: kerndi_2000 + walddgesellsch

kerndi_100, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung der Kerndichte (Kernel density) mit einem Suchradius von 100 km.

kerndi_10000, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung der Kerndichte (Kernel density) mit einem Suchradius von 10'000 km.

kerndi_1057, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung der Kerndichte (Kernel density) mit einem Suchradius von 1'057 km.

kerndi_2000, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung der Kerndichte (Kernel density) mit einem Suchradius von 2'000 km.

kerndi_500, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung der Kerndichte (Kernel density) mit einem Suchradius von 500 km.

waldgesellsch, Rasterdatensatz

Einteilung der Waldgesellschaften in verschiedene 'Gefahrenstufen' gemäss den nachgewiesenen Feuerfrequenzen.

Stufe 5 = Legföhrenwälder

Stufe 4 = Bergföhrenwälder

Stufe 3 = Fichtenwälder

Stufe 1 = Mischwälder

(Identisch mit dem Layer waldgesellsch aus dem Ordner anthropogener Eintrittswahrscheinlichkeit)

Raumdaten_GIS_SNP**dtm4**, Rasterdatensatz

Digitales Terrain Modell mit 4 Meter Auflösung über das Gebiet des Schweizerischen Nationalparks und Umgebung.

grenze_snp, Vektordatensatz (Linien)

Grenze des Schweizerischen Nationalparks.

hauptstrassen, Vektordatensatz (Linien)

Hauptstrasse durch den Schweizerischen Nationalpark.

tunnel, Vektordatensatz (Linien)

Tunnel im Schweizerischen Nationalpark.

wanderwege, Vektordatensatz (Linien)

Wanderwege im Schweizerischen Nationalpark.

Risikoanalyse

risiko_3stufe, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung des Risikos (`risiko_unkl`), reklassifiziert auf 3 Stufen anhand gleicher Intervalle (`equal intervals`). Die Daten wurden vor der Berechnung auf 5 normiert.

Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit (`ew_nat_ungew`) x Auswirkungen (`auswirku_unkl`)

risiko_5stufe, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung des Risikos (`risiko_unkl`), reklassifiziert auf 5 Stufen anhand gleicher Intervalle (`equal intervals`). Die Daten wurden vor der Berechnung auf 5 normiert.

Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit (`ew_nat_ungew`) x Auswirkungen (`auswirku_unkl`)

risiko_unkl, Rasterdatensatz

Resultat der Berechnung des Risikos ohne vorgenommene Reklassifizierung. Die Daten wurden vor der Berechnung auf 5 normiert.

Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit (`ew_nat_ungew`) x Auswirkungen (`auswirku_unkl`)

Selbstständigkeitserklärung

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

Wetzikon, den 29. April 2009