

Natürliche und anthropogene Störungen in den Wäldern des Schweizerischen Nationalparks

Luftbildgestützte Analyse und Kartierung der verschiedenen
Störungstypen



Nadine Guthapfel

Diplomarbeit Departement Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich

Ausgeführt an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und
Landschaft (WSL), Birmensdorf

Referenten: Dr. Bertil O. Krüsi, WSL, Dr. Martin Schütz, WSL
Betreuer: Christian Ginzler, WSL

Zürich, März 2002

Dank

In erster Linie möchte ich Dr. Bertil O. Krüsi und Dr. Martin Schütz, den Referenten dieser Arbeit, meinen herzlichen Dank aussprechen für ihre fachliche Betreuung während der Arbeit, ihre wertvollen Anregungen und die kritische und konstruktive Durchsicht des Textes.

Insbesondere gebührt auch meinem Betreuer Christian Ginzler ein ganz herzliches Danke für die Einführung in die Methodik der Luftbildauswertung und seiner hilfreichen Unterstützung während der gesamten Zeit. Er war bei technischen Problemen der Luftbildanalyse und der Auswertung im GIS stets zur Stelle und gab wertvolle Tipps und Hilfeleistungen.

Ich möchte auch die Mitarbeiter der Abteilung Landschaftsinventur der WSL dankend erwähnen, insbesondere Patrick Wicki für die Herstellung der Orthobilder und der Entzerrung der Interpretationsfolien.

Mein Dank geht nicht zuletzt auch an den Schweizerischen Nationalpark, von dem ich freundlicherweise die Farbinfrarot-Luftbilder zur Verfügung gestellt bekam.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	5
3	Material und Methoden	7
3.1	Untersuchungsgebiet	7
3.2	Kartierung von grossflächigen Störungen	9
3.2.1	Grundlagen	9
3.2.2	Vorgehen.....	9
3.2.3	Abgrenzungskategorien	11
3.2.3.1	Waldgrenze.....	11
3.2.3.2	Weiden.....	12
3.2.3.3	Lawinen	12
3.2.3.4	Rutschungen.....	12
3.2.3.5	Bachschuttkegel	12
3.2.3.6	Brandflächen.....	12
3.2.3.7	Felsstandorte	13
3.2.3.8	Strassen.....	13
3.2.3.9	Fliessgewässer	13
3.2.3.10	Ungestörter Wald	13
3.3	Kartierung von kleinflächigen Störungen.....	15
3.3.1	Grundlagen	15
3.3.2	Vorgehen.....	15
3.3.3	Abgrenzungskategorien	16
4	Resultate.....	20
4.1	Kartierung von grossflächigen Störungen	20
4.2	Kartierung von kleinflächigen Störungen.....	30
4.2.1	Betrachtung auf kleinflächige Störungen beschränkt	30
4.2.2	Betrachtung von allen Störungen (gross- und kleinflächige)	39
5	Diskussion.....	42
5.1	Luftbildanalyse	42
5.2	Störungstypen.....	42
6	Literaturverzeichnis.....	46
Anhang		48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ausschnitt aus der Landeskarte 1:100'000 mit Lage des Untersuchungsgebietes.	8
Abbildung 2: Orthobild 1:30'000 mit Beispielen für grossflächige Störungen: 1: Weide, 2: Lawine jung, 3: Lawine mittelalt, 4: Lawine alt, 5: Rutschung, 6: Bachschuttkegel, 7: Brandfläche, 8: Felsstandort.	14
Abbildung 3: Flächenvergleich ungestörter Wald und verschiedene Störungskategorien.....	21
Abbildung 4: Ein mittelalter Lawinenzug im Gebiet Alp la Schera.....	22
Abbildung 5: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Weiden.....	24
Abbildung 6: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von See, Fliessgewässern und Strasse.....	25
Abbildung 7: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Rutschungen, Lawinen, Brandflächen und Bachschuttkegeln.	26
Abbildung 8: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Felsstandorten.	27
Abbildung 9: Orthobild der 1:30'000-Luftbilder mit Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und allen grossflächigen Störungen.	28
Abbildung 10: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung aller grossflächigen Störungen und der Nationalparkgrenze.	29
Abbildung 11: Häufigkeit der einzelnen kleinflächigen Störungsklassen.....	31
Abbildung 12: Häufigkeit der zusammengefassten kleinflächigen Störungsklassen.	33
Abbildung 13: Standort mit Windwurf bzw. Schneedruck bei Alp Stabelchod.	34
Abbildung 14: Standort mit Windwurf bzw. Schneedruck bei Alp Stabelchod.	34
Abbildung 15: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von kleinflächigen Störungen, in Klassen aufgeteilt.....	35
Abbildung 16: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt.....	36
Abbildung 17: Orthobild der 1:10'000-Luftbilder mit Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt.....	37
Abbildung 18: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung aller kleinflächigen Störungen und der Nationalparkgrenze.....	38
Abbildung 19: Flächenvergleich ungestörter Wald, gross- und keinflächige Störungen.	40
Abbildung 20: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von gross- und kleinflächigen Störungen.....	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kriterien zur Beschreibung der kleinflächig gestörten Waldflächen.....	16
Tabelle 2: Einteilung der gestörten Waldflächen in verschiedene Kategorien.....	17
Tabelle 3: Einteilung der gestörten Waldflächen in Klassen, aus Kategorien zusammengefasst.....	18
Tabelle 4: Fläche (gerundet auf 100 m ²) und Prozentanteile der einzelnen Störungskategorien im Untersuchungsgegenstand mit Unterscheidung zwischen waldfähigen und nicht waldfähigen Standorten.....	20
Tabelle 5: Fläche (gerundet auf 100 m ²) und Prozentanteil der kleinflächigen Störungen, in Kategorien aufgeteilt, im Untersuchungsgegenstand.	30
Tabelle 6: Fläche (gerundet auf 100 m ²) und Prozentanteil der kleinflächigen Störungen, in Klassen aufgeteilt, im Untersuchungsgegenstand.....	31
Tabelle 7: Fläche (gerundet auf 100 m ²) und Prozentanteil der kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt, im Untersuchungsgegenstand mit Unterscheidung zwischen waldfähigen und nicht waldfähigen Standorten.	32
Tabelle 8: Fläche (gerundet auf 100 m ²) und Prozentanteil der gross- und kleinflächigen Störungen im Untersuchungsgegenstand.	39

1 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war, für die unterhalb der Waldgrenze liegenden Bereiche des Schweizerischen Nationalparks die folgenden Fragen zu beantworten:

1. Wie gross ist der Flächenanteil des ungestörten Waldes?
2. Wie gross ist der Anteil der einzelnen Störungstypen?
3. Welche der gestörten Flächen sind waldfähig?

Grossflächige Störungen wurden in einem 37,34 km² grossen Testgebiet auf 1:30'000-Normalfarben-Luftbildern untersucht, kleinflächige Störungen in einem 13,39 km² grossen Testgebiet auf 1:10'000-Farbinfrarot-Luftbildern. Das kleine Testgebiet lag vollständig innerhalb des grossen.

Von dem auf grossflächige Störungen untersuchten Gebiet von 37,34 km² im Fuorn-Tal entfielen 32,29 km² auf waldfähige Standorte. Von den waldfähigen Flächen waren 6,37% von Störungen betroffen: Lawinenzüge machten mit 3,69% die bedeutendsten natürlichen abiotischen Störungen aus, es folgten anthropogene subalpine Weiden mit 2,12% und Brandflächen mit 0,23%. Als nicht waldfähig betrachtet wurden die folgenden Flächen: Strasse, See, Fliessgewässer, Erosionstrichter von Bächen, Bachdeltas, Rutschungen und Felsstandorte.

In dem 13,39 km² umfassenden Gebiet, in welchem kleinflächige Störungen untersucht wurden, nahmen waldfähige Standorte 12,0 km² ein. Von den waldfähigen 12 km² waren 8,07% gestört, 2,38% waren von kleinflächigen Störungen und 5,69% von grossflächigen bereits im 37,34 km² grossen Testgebiet erfassten Störungen betroffen. Von den 5,69% grossflächigen Störungen entfielen 2,97% auf subalpine Weiden, 2,09% auf Lawinenzüge unterschiedlichen Alters und 0,63% auf Brandflächen. Die 2,38% der waldfähigen Standorte einnehmenden kleinflächigen Störungen bestanden primär aus undefinierbaren Lücken (1,36%), Störungen, die auf Windwurf bzw. Schneedruck zurückgeführt wurden (0,88%), mutmasslich durch Alter entstandene Lücken (0,09%) und Lücken, die als Krankheit durch Hallimasch interpretiert wurden (0,05%).

Wesentlich mehr Fläche ist vermutlich durch die anthropogene Herabsetzung der Waldgrenze infolge Holzschlag und Weidenutzung betroffen. Bei einer geschätzten Länge der Waldgrenze von 30 km im 37,34 km² grossen Untersuchungsgebiet und einer angenommenen Herabsetzung der Waldgrenze um durchschnittlich 100 m ergibt sich bereits eine Fläche von 3 km², was ca. 9% der waldfähigen Flächen im Testgebiet entspricht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die flächenmässig wichtigste Störung im Gebirgswald des Nationalparks vor allem die anthropogenen subalpinen Weiden und die ebenfalls anthropogene Herabsetzung der Waldgrenze sind. Natürliche Störungen wie Lawinen und Windwurf bzw. Schneedruck sind ebenfalls beachtenswert, betreffen jedoch nur wenige Prozent der waldfähigen Fläche. Insgesamt spielen die auf den Luftbildern erkennbaren Störungen im Vergleich zum gesamten Waldgebiet nur eine kleine Rolle.

2 Einleitung

Natürliche Störungen spielen eine wichtige Rolle in der Sukzession von Ökosystemen. Auch in Waldökosystemen wie subalpinen Gebirgswäldern sind sie für die Entwicklung von Struktur und Funktion von grosser Bedeutung.

Subalpine Gebirgswälder sind durch besondere Verhältnisse der Standorte gekennzeichnet. Sie müssen mit wenig Wärme, hohen und langandauernden Schneedecken, und insbesondere in den Zentralalpen mit starker Sonneneinstrahlung und trockener Luft auskommen (Ott et al. 1997). Zusätzlich sind zahlreiche Störungsfaktoren vorhanden, welche die Entwicklung in Gebirgswäldern beeinflussen können. Zu den natürlichen Störungen biotischen Ursprungs gehören Wurzelkrankheiten durch parasitische Pilze, Schneeschimmel, Lärchenwicklerbefall oder Widverbiss. Zu den abiotischen natürlichen Störungen zählen Schneegleiten, Schneedruck, Windwurf, Brand, Lawinen, Erdbeben oder Steinschlag. Hinzu kommen aber auch anthropogene Störungen wie Holzschlag und Weidenutzung. An den meisten Orten wirken sowohl anthropogene als auch natürliche Störungen und beeinflussen die Waldentwicklung. Auch wenn heute keine direkten menschlichen Eingriffe mehr stattfinden, können frühere Eingriffe den Zustand und die Dynamik des Gebirgswaldes noch über Jahrzehnte prägen.

Die Wälder des Schweizerischen Nationalparks sind eines der raren Beispiele für Gebirgswälder, in denen seit Jahrzehnten (seit 1914) keine direkten menschlichen Eingriffe stattgefunden haben. Trotzdem dürfte die Vegetation nach wie vor stark anthropogen geprägt sein. Dies betrifft insbesondere die subalpinen Weiden, die auch 80 Jahre nach Aufgabe der Nutzung in praktisch unveränderter Grösse erhalten blieben. Krüsi et al. (1998) stellten beispielsweise fest, dass die heute 11 ha grosse Alp Stabelchod seit der Parkgründung erst um rund 0,9 ha kleiner wurde, d.h. dass der Wald in 80 Jahren erst 8% der Weidefläche zurückerobert konnte. Wiederbewaldungsmodelle von Porret (2001) prognostizieren für Alp Stabelchod, dass in rund 800 Jahren erst gut die Hälfte der Weide wieder von Wald bedeckt sein dürfte. Aber auch die Parkwälder selbst sind auch heute noch grossflächig geprägt durch die vor der Parkgründung während Jahrhunderten übliche Kahlschlagwirtschaft (Parolini 1995). Deshalb ist im Gebiet des Nationalparks heute vorwiegend der Pionierbaum Bergföhre (*Pinus montana*) als bestandesbildende Art anzutreffen (Kurth et al. 1960). Verschiedene Studien kommen jedoch zum Schluss, dass einst die Arve (*Pinus cembra*) grossflächig dominant war (Rikli 1909, Braun-Blanquet et al. 1954, Leibundgut und Schlegel 1985, Mattes 1990, Mayer 1992, Zoller 1995, Kienast et al. 1999). Langfristig dürften sich deshalb die Bergföhrenwälder vielerorts wieder zu Arvenwald entwickeln. Diese Sukzession wird seit der Parkgründung nicht mehr durch menschliche Aktivitäten behindert. Natürliche Störungen, seien sie biotischen oder abiotischen Ursprungs, wirken allerdings nach wie vor und könnten diese Sukzession zum Arvenwald verzögern oder ganz verhindern, d.h. die Bergföhrendominanz langfristig erhalten.

Ein Überblick über vorhandene Störungen im Gebirgswald des Nationalparks kann mit einer Kartierung der momentan sichtbaren Störungen geschaffen werden. Das Ziel dieser Arbeit ist, den Flächenanteil momentan sichtbarer Störungen im Waldgebiet des Nationalparks mittels Luftbildanalyse zu erheben. Zur Abschätzung deren Bedeutung wird zwischen verschiedenen Störungskategorien unterschieden, welche

kartiert, ausgemessen und interpretiert werden. Dabei werden alle momentan vorhandenen gross- und kleinflächigen Lücken im Gebirgswald als Störung interpretiert. Anthropogen geschaffene Strukturen, wie Strassen, und natürliche Strukturen, wie z.B. Felsen und Fliessgewässer, werden in diesem Fall eingeschlossen.

Dies führt zu den folgenden Fragen, die untersucht werden sollen:

1. Wie gross ist der Flächenanteil des ungestörten Waldes?
2. Wie gross ist der Anteil der einzelnen Störungstypen?
3. Welche der gestörten Flächen sind waldfähig?

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden im Schweizerischen Nationalpark im Kanton Graubünden durchgeführt (Abbildung 1). Der Nationalpark existiert seit 1914. Seither wurden keine menschlichen Nutzungen mehr durchgeführt. Der Schweizerische Nationalpark ist somit unbeeinflusst von direkten anthropogenen Auswirkungen, wird nur durch natürliche Störungsfaktoren beeinflusst und kann daher als ideales Gebiet angesehen werden, um diese natürlichen Störungen zu untersuchen.

In dieser Arbeit wurden zwei unterschiedliche räumliche Skalen verwendet, um die Häufigkeit und Bedeutung von Störungen in den Parkwäldern abzuschätzen. Grossflächige Störungen wie Lawine, Erosionstrichter oder Alluvionen (siehe 3.2) wurden auf Normalfarben-Luftbildern im Massstab 1:30'000 abgegrenzt, während kleinflächige Störungen (siehe 3.3) wie Schneedruck auf Infrarot-Luftbildern im Massstab 1:10'000 kartiert wurden.

Grossflächige Störungen wurden im Ofenpassgebiet kartiert. Das Untersuchungsgebiet wird im Osten und Westen durch die Nationalparkgrenze und im Süden und Norden durch die obere Waldgrenze begrenzt. Im Südwesten wird das Untersuchungsgebiet zudem durch den Bach, welcher durch das Vallun da l'Uors und später in den Fluss Spöl fliesst, begrenzt. Das Untersuchungsgebiet für die Kartierung von kleinflächigen Störungen umfasste im Ofenpassgebiet hauptsächlich das Waldgebiet nördlich des Baches Il Fuorn. Im Norden wird es durch die obere Waldgrenze begrenzt, im Westen und Osten durch die Nationalparkgrenze und im Süden durch den Bildrand der verwendeten Luftbilder (Abbildung 1).

8

3.2 Kartierung von grossflächigen Störungen

3.2.1 Grundlagen

Für die Kartierung von grossflächigen Störungen wurden Normalfarben-Luftbilder im Massstab 1:30'000 des Bundesamtes für Landestopographie verwendet, welche am 25. August 2000 geflogen wurden. Davon standen vom Waldgebiet im Nationalpark sämtliche Luftbilder des Ofenpassgebietes zur Verfügung, aber nicht diejenigen von Val Trupchun, Val Cluozza und Val Mingèr. Die verwendeten Bildpaare überdecken sich zu 70%.

Die Auswertung und Interpretation der Luftbilder erfolgte mit dem Zweibild- oder stereophotogrammetrischen Verfahren. Dabei werden Bildpaare benutzt, deren Einzelbilder sich teilweise überdecken. Die sich überlappenden Bildteile können als Raumbilder stereoskopisch gesehen und ausgewertet werden. Die Betrachtung des zu einander gehörenden Bildpaares, welches ein sogenanntes Stereomodell bildet, erfolgt durch Stereoskope. Dies sind binokulare, optische Instrumente, die es ermöglichen, nebeneinander liegende Bildpaare so zu betrachten, dass das rechte Auge nur das rechts liegende und das linke Auge nur das links liegende Bild sieht. Das für diese Arbeit verwendete Stereoskop ist ein Zoom-Stereoskop, das Leica Aviopret mit Diskussionsstabus und 3- bis max. 15,5-facher Vergrösserungen.

Luftbilder werden in der Zentralperspektive abgebildet. Daher weisen konventionelle Luftbilder Verzerrungen auf, die von der Kameraneigung und vor allem dem Geländere relief herrühren. In einem Luftbild ist somit kein einheitlicher Massstab vorhanden. Für die Darstellung in einem einheitlichen Massstab müssen die Luftbilder entzerrt werden.

Für weitere theoretische Grundlagen der Fernerkundung und der Luftbildinterpretation wird auf umfassende Literatur verwiesen (Howard 1991, Hildebrandt 1996).

3.2.2 Vorgehen

Eine erste Durchsicht der vorhandenen 1:30'000 Luftbilder erfolgte im Sommer 2001. Aus diesen wurden einige mit verschiedenartigen Störungslücken ausgewählt. Während eines mehrtägigen Feldaufenthaltes im Nationalpark wurde versucht, bei einigen Lücken die Art der Störung zu identifizieren.

Von den verfügbaren Luftbildern des Nationalparks wurden jene fünf Luftbildpaare ausgewählt, die für die vollständige stereoskopische Bearbeitung des gesamten Untersuchungsgebietes notwendig waren. Es wurde darauf geachtet, keine zusätzlichen Luftbildpaare auszuwählen, welche das bereits abgedeckte Gebiet des Gebirgswaldes darstellen. Von der Fluglinie 168 wurden die Luftbilder Nr. 6428, 6429, 6430 und 6431 benutzt und von der Fluglinie 172 die Luftbilder Nr. 6373, 6374, 6375, 6376, 6377 und 6378.

Unter dem Stereoskop musste das Bildpaar zuerst orientiert werden. Mit Orientierung ist in diesem Fall die gegenseitige Ausrichtung der Bilder gemeint, damit sich alle homologen Strahlenpaare schneiden. Dies ist die sogenannte relative Orientierung, welche unter dem Stereoskop nur näherungsweise erfolgt.

Für die Delinierung, bzw. Abgrenzung von Flächen, wurden spezielle Kartierfolien direkt auf die Luftbilder gelegt und mit Klebeband befestigt. Zusätzlich wurden Beschwerungsgewichte darüber gelegt, damit die Luftbilder flach lagen. Für die Arbeiten mit ungeschützten Luftbildern wurden spezielle Stoffhandschuhe (Photographenhandschuhe) verwendet. Mit einer Punktiernadel wurden auf der Kartierfolie die Rahmenmarken des Luftbildes übertragen. Die Delinierung erfolgte mit einem Tuschestift von 0,18 mm Breite. Im Feld überdeckt der Tuschestrich auf dem 1:30'000-Luftbild eine Breite von 5,4 m. Der Tuschestrich wurde so gezogen, dass die Flächengrenze jeweils in die Mitte des Tuschestrichs zu liegen kam.

Für alle abzugrenzenden Flächen auf den Luftbildern wurde ein Interpretationsschlüssel mit klar definierten Abgrenzungskategorien erstellt.

Nachdem alle Flächen abgegrenzt und auf Folien eingezeichnet waren, wurden die Folien mit einer Auflösung von 600 ppi eingescannt.

Für die weitere Bearbeitung mussten erst die Luftbilder entzerrt und in eine orthogonale Position gebracht werden, da die Luftbilder das Gelände in der Zentralperspektive abbilden. Die Luftbilder mussten zudem lagerichtig im Landeskoordinatensystem orientiert werden, d.h. es wurden Ortho-Bilder erstellt. Als Ortho-Bild oder Orthophoto wird ein differentiell entzerrtes bzw. umgebildetes und damit von der Zentralperspektive in eine orthogonale Projektion gebrachtes Luftbild bezeichnet (Hildebrandt 1996). Die Einflüsse der Kameraneigung und des Geländes werden mit Hilfe von Passpunkten und eines Geländemodells entfernt. Ein Ortho-Bild weist einen einheitlichen Massstab auf und kann direkt mit Kartenelementen überlagert werden.

Die absolute Orientierung wurde vom Bundesamt für Landestopographie durchgeführt. Die externen Orientierungsparameter wurden mit den Diakopien der Luftbilder mitgeliefert. Das verwendete Oberflächenmodell basierte auf einer Maschenweite von 25 m. Nach Angaben des Bundesamtes für Landestopographie (www.swisstopo.ch) betragen die mittleren Abweichungen in den Alpen ca. 3 m.

Die gescannten Folien wurden aufgrund des Oberflächenmodelles und den Orientierungsparametern der Luftbilder mit digitalem Monoplotting entzerrt und ins Landeskoordinatensystem übergeführt. Die Generierung des Ortho-Bildes und der entzerrten Folien erfolgte durch Mitarbeiter der Abteilung Landschaftsinventur der WSL.

Die digitalisierten, entzerrten Folien wurden in einem Geographischen Informationssystem (GIS) vektorisiert, zusammengefügt und weiterbearbeitet. Bei der Vektorisierung wurde der Tuschestrich zur Mitte des Strichs hin vektorisiert. Anschliessend wurde mit Polygonen weitergearbeitet. Im GIS wurden aufgrund des Orthobildes auch noch Strassen und Fliessgewässer digitalisiert. Diese Linien wurden jeweils mit einer Pufferzone umgeben, damit die beiden Kategorien ebenfalls als Polygone vorlagen. Falls die Strasse oder die Fliessgewässer andere, bereits abgegrenzte Störungen schnitten, galten die bereits vorhandenen. Die Auswertung erfolgte mit dem Softwarepaket ArcView GIS 3.2 und mit MS Excel.

3.2.3 Abgrenzungskategorien

3.2.3.1 Waldgrenze

Für die spätere Darstellung und Berechnung der gestörten wie ungestörten Gebirgswaldflächen wurde zunächst der Untersuchungsgegenstand im Nationalpark abgegrenzt. Er wurde im Nationalpark auf der gesamten Fläche unterhalb der Waldgrenze bestimmt. Für dieses Verfahren war es notwendig, die Waldgrenze auf den Interpretationsfolien einzuzeichnen. Dazu musste die Waldgrenze als scharfe Grenzlinie definiert werden. Die Waldgrenze ist allerdings eher ein Übergangssaum als eine linienhafte Grenze, wobei eine allgemein gültige und allen Gesichtspunkten entsprechende Definition kaum möglich ist (Holtmeier 1967). Die Waldgrenze kann als Spiegelbild verschiedener ökologischer Wechselwirkungen zwischen Vegetation, Grossklima, Lokalklima, Mikroklima, Relief, Tierwelt und Mensch angesehen werden (Holtmeier 1967). Auch schon Imhof (1900) bezeichnete die Waldgrenze eher als Grenzstreifen, in welcher der Wald allmählich lichter wird, die geschlossene Form verliert und sich in einzelne Baumgruppen auflöst. Für die Delinierung der Waldgrenze als Linie mussten daher eigene Kriterien formuliert werden.

Als Basis diente die Definition des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI), bei der eine bestockte Fläche mit einem Kronenschluss von mindestens 20% und einer minimalen Fläche von 0,25 ha als Wald gilt (Brassel und Brändli 1999).

Die Waldgrenze wurde an der Stelle definiert, an welcher der Kronenschluss im Waldgrenzgebiet 20% unterschritt. Einzelne Baumgruppen im Waldgrenzgebiet mit einer minimalen Fläche von ca. 0,25 ha, mit mindestens 25 m Breite und höchstens 60 m Entfernung zur Waldgrenze wurden zum Waldareal gezählt. Mehrere Baumgruppen im Waldgrenzgebiet wurden bei einem Maximalabstand von 100 m zur Waldgrenze einbezogen. Als Waldgrenze wurde die Verbindungslinie zwischen den äussersten Punkten der Baumgruppen gezogen. Einzelne Baumgruppen an der Waldgrenze in Fels oder Schuttkegeln wurden ebenfalls zum Untersuchungsgegenstand gezählt und miteinander verbunden, sofern ihr Abstand maximal 120 m betrug. Lawinenzüge, Felsen und Bäche mit und ohne Erosionstrichter wurden zum Untersuchungsgegenstand gezählt, sofern sie an beiden Seiten an Wald grenzten. Die Waldgrenze lag in diesem Bereich in der Verlängerung der Waldgrenze auf beiden Seiten der Lawinenzüge und Felsen. Bei Felsen mit einer Grösse von mindestens 3 ha erfolgte die Grenzziehung entlang der Felsen. Lawinenzüge und Felsen, die auf allen Seiten von Wald umgeben waren, wurden ganz zum Untersuchungsgegenstand gezählt. Wurden verschiedene unzusammenhängende Waldflecken durch Felsen begrenzt, bildete die gerade Verbindung zwischen den höchstgelegenen Waldflecken die Waldgrenze. Mehr als 100 m von der Waldgrenze entfernte Baumgruppen wurden nicht zum Untersuchungsgegenstand gezählt. Bei grossen Erosionstrichtern von Bächen ohne bestockte Flächen führte die Waldgrenze dem Trichter rand entlang hinunter, bis die eigentliche Abflussrinne begann. Dort führte die Grenze durch den Bach. Falls kein grösserer Erosionstrichter vorhanden war und neben dem Bachbett Wald lag, führte die Waldgrenze entweder zwischen den höchsten Punkten der angrenzenden Waldstücke durch den Bach oder auf der Höhe des deutlich niedrigeren anliegenden Waldstücks.

3.2.3.2 Weiden

Innerhalb des Untersuchungsgegenstandes wurden Weideflächen mit Weidevegetation ausgeschieden, die in der Regel nicht bestockt waren (Abbildung 2). Kleine Baumgruppen konnten auch innerhalb der Weideflächen vorkommen. Die Mindestflächengröße für die Ausgrenzung von Weideflächen betrug ca. 0,2 ha.

3.2.3.3 Lawinen

Die Mindestbreite für die Abgrenzung eines Lawinenzuges betrug ca. 30 m. Bei Lawinenzügen, die oberhalb des Untersuchungsgegenstandes begannen, wurde nur der Teil innerhalb des Untersuchungsgegenstandes berücksichtigt. Bei Lawinenanrissen innerhalb des Untersuchungsgegenstandes hingegen erfolgte die Abgrenzung an der Anrissstelle. Bei schwierig erkennbarer Anrissstelle wurde die Grenze möglichst sinnvoll gewählt. Falls ein Lawinenkegel einen Bach überquerte, wurde der Bach zum Lawinenkegel gezählt. Wenn ein Lawinenkegel hingegen einem Bach entlangführte, gehörte der Bach nicht zum Lawinenzug.

Die Lawinenzüge wurden weiter unterteilt. Dabei wurde zwischen jungen, mittelalten und alten Lawinenzügen unterschieden:

- **Junger Lawinenzug**
Die Merkmale eines jungen Lawinenzuges waren fast fehlender Jungwuchs und zum Teil viele umgeworfene und mitgerissene Bäume (Abbildung 2).
- **Mittelalter Lawinenzug**
Die Fläche der bereits etwas älteren Lawinenzüge war bereits wieder mit wenig Jungwuchs bestockt. Ein deutlicher Unterschied in der Bestandeshöhe gegenüber der neben dem Lawinenzug liegenden Waldfläche war erkennbar (Abbildung 2).
- **Alter Lawinenzug**
Der Lawinenzug war bereits mit deutlich höherwüchsigerem Jungwuchs als in den mittelalten Lawinenzügen bestockt. Der Strukturunterschied gegenüber der Waldfläche neben dem Lawinenzug war immer noch deutlich erkennbar (Abbildung 2).

3.2.3.4 Rutschungen

Zusätzlich zu den Lawinen wurden Rutschungen abgegrenzt (Abbildung 2). Als Rutschungen wurden alle vegetationslosen Schuttflächen ausserhalb des Einflussbereichs von Bächen (inkl. Erosionstrichter) und Lawinen bezeichnet. Rutschungen konnten sowohl durch Steinschlag, Erdbeben oder Schneerutsche entstanden sein.

3.2.3.5 Bachschuttkegel

Als Bachschuttkegel wurden im Gegensatz zu Rutschungen Schuttflächen mit keiner oder spärlicher Bestockung bezeichnet, welche deutlich durch einen Bach beeinflusst waren (Abbildung 2). Dies waren einerseits Erosionstrichter, andererseits Bachdeltas.

3.2.3.6 Brandflächen

Auch Brandflächen wurden abgegrenzt. Diese zeichneten sich durch nicht bestockte und beinahe vegetationslose Flächen aus. Diese Brandflächen zeigten aufgrund der Brandspuren einen deutlichen Farbunterschied gegenüber den Lawinenzügen (Abbildung 2).

3.2.3.7 Felsstandorte

Zu dieser Kategorie gerechnet wurden Felsen, Steinfluren und Steilhänge mit einer Mindestfläche von ca. 1,5 ha und einem sichtbaren Felsanteil von ca. 50% (Abbildung 2).

3.2.3.8 Strassen

Mit dem Orthobild wurde die Strassenbreite abgeschätzt und auf der ganzen Strassenlänge auf ca. 10 m festgelegt. Die auf dem Orthobild digitalisierte Strassenlinie wurde im GIS mit einer Pufferzone von dieser Breite umgeben.

3.2.3.9 Fliessgewässer

Die Breiten der im Nationalpark vorkommenden Fliessgewässer wurden ebenfalls aufgrund des Orthobildes abgeschätzt. Die Breiten variierten zwischen ca. 9 m bis ca. 40 m. Jedes einzelne der verschiedenen digitalisierten Fliessgewässerlinien wurde daraufhin im GIS mit einer Pufferzone der für sie bestimmten Breite umgeben.

3.2.3.10 Ungestörter Wald

Das gesamte innerhalb des Untersuchungsgegenstandes liegende und keiner der oben aufgeführten acht Störungskategorien zugeordnete Areal wurde als ungestörter Wald bezeichnet.

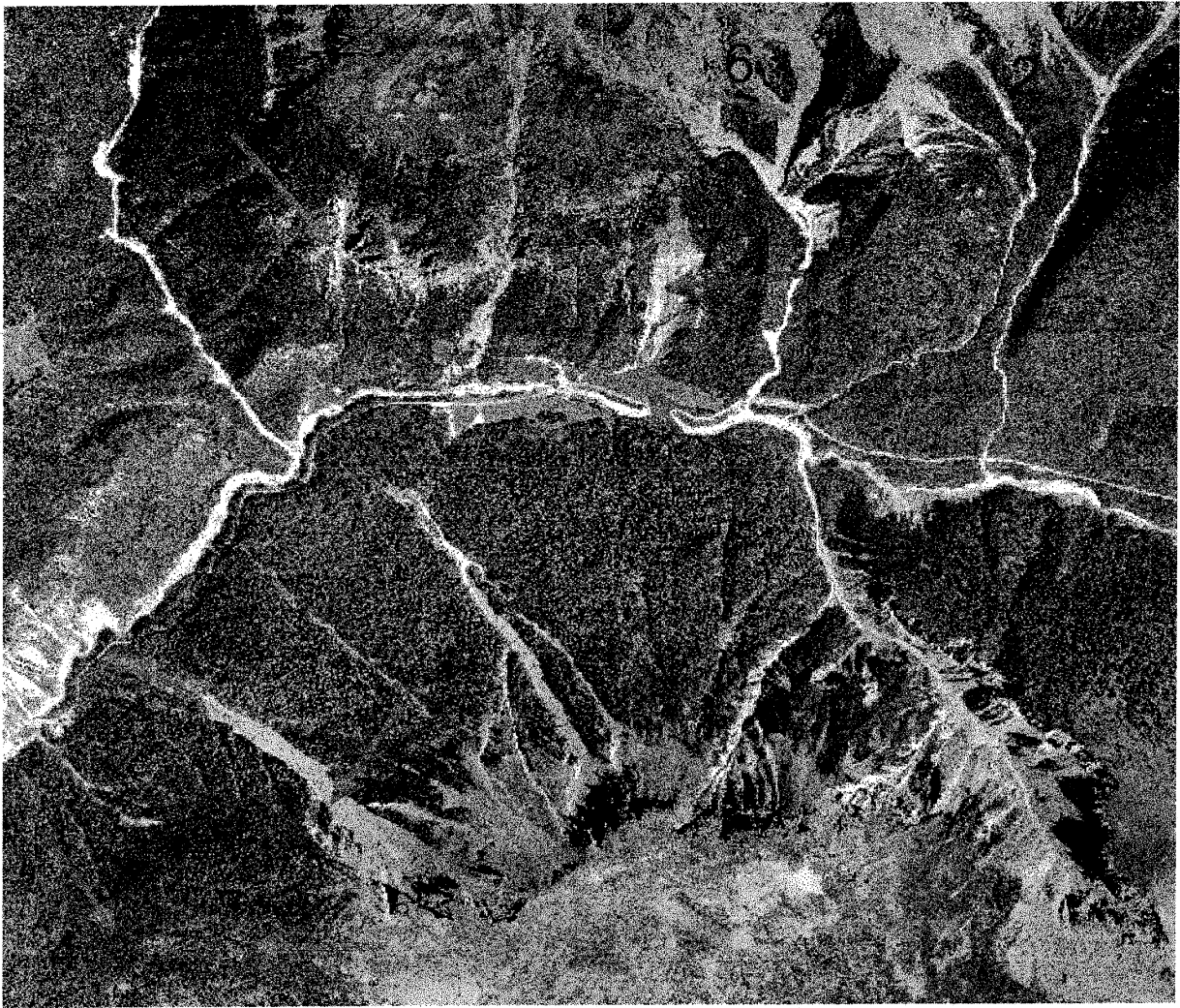


Abbildung 2: Orthobild 1:30'000 mit Beispielen für grossflächige Störungen: 1: Weide, 2: Lawine jung, 3: Lawine mittelalt, 4: Lawine alt, 5: Rutschung, 6: Bachschuttkegel, 7: Brandfläche, 8: Felsstandort.

3.3 Kartierung von kleinflächigen Störungen

3.3.1 Grundlagen

Für die Kartierung von kleinflächigen Störungen wurden Farbinfrarot-Luftbilder im Massstab 1:10'000 verwendet, die am 24. August 2000, im Auftrag des Schweizerischen Nationalparks geflogen wurden. Dabei wurde der gesamte Nationalpark flächendeckend erfasst. Von diesen Luftbildern standen für diese Arbeit diejenigen der Linien 150, 152, 153 und 177 digital zur Verfügung.

Anders als herkömmliche Normalfarben-Luftbilder besitzen Farbinfrarot-Luftbilder (auch Color-Infrared-(CIR-) Aufnahmen genannt) andere Eigenschaften. Für die Auswertung von Infrarot-Luftbildern ist der sichtbare Bereich der Strahlung und der unmittelbar angrenzende Bereich des nahen Infrarot von Bedeutung. Die Reflexion von Vegetation im nahen Infrarot ist um ein Mehrfaches höher als die Reflexion im sichtbaren Bereich. Blätter und Nadeln strahlen vom sichtbaren Licht vor allem die Grünanteile zurück, weshalb die Vegetation im Allgemeinen grün erscheint. Die spektrale Reflexion ist unterschiedlich je nach Baumart und Vitalität. Im sichtbaren Bereich unterscheiden sich verschiedene Baumarten und vor allem die Vitalitätszustände kaum, im nahen Infrarot hingegen sind die Unterschiede beträchtlich. Die Reflexion vitaler Blätter und Nadeln weist im nahen Infrarot ein breites Maximum auf. Die für das Auge unsichtbare Infrarotreflexion kann mittels geeignetem Filmmaterial, sogenannten Infrarotfilmen, erfasst werden. Der Farbton widerspiegelt die Vitalität des Pflanzenbestandes. Frischgrüne, austreibende Vegetation wird durch rote Farben abgebildet, weniger produktive Flächen durch verschiedene Grüntöne (Rageth 1986, Oester 1991, Hildebrandt 1996).

3.3.2 Vorgehen

Für die Auswertung wurden insgesamt fünf Infrarot-Bildpaare der Fluglinie 153 ausgewählt, welche den Gebirgswald des Ofenpassgebietes vollständig abdecken. Dies waren die Luftbilder Nr. 5228, 5229, 5232, 5233, 5236, 5237, 5240, 5241, 5245 und 5246. Die Überlappung der Bildpaare liegt bei 75%.

Zur Orientierung der Infrarot-Luftbilder im Geländekoordinatensystem wurden Passpunkte bestimmt, d.h. Geländepunkte, deren Koordinaten im Geländekoordinatensystem bekannt sind und die in den Luftbildern eindeutig zu identifizieren sind. Die Passpunktbestimmung erfolgte folgendermassen:

Mit dem Orthobild der 1:30'000 Luftbilder, die im selben Sommer geflogen wurden, wurden Passpunkte für die x- und y-Koordinaten bestimmt. Zusätzlich wurde das Oberflächenmodell für die Bestimmung der z-Koordinaten daruntergelegt. Für die Orientierung waren folglich die Raumkoordinaten x, y und z bekannt, die Passpunkte waren deshalb als Vollpasspunkte vorhanden. Pro Infrarot-Bildpaar wurden ca. 10 Passpunkte bestimmt. Als Passpunkte kamen natürliche Punkte oder Geländepunkte in Frage, die als solche sowohl im CIR-Luftbild als auch auf dem Ortho-Photo eindeutig als Punktmarke erkennbar sind. Wo möglich wurden Hausecken oder Gelän-

decken verwendet, oftmals aber auch Tangentialpunkte der Kronenprojektion von Einzelbäumen.

Jedes Bildpaar musste zudem auch relativ orientiert werden. Als relative Orientierung wird die gegenseitige Orientierung der Bildpaare zueinander bezeichnet. Durch die absolute Orientierung wurde die Lage des Modells im Raum in Bezug auf das Landeskoordinatensystem bestimmt. Die orientierten 1:10'000-Luftbilder verfügten über eine Lagegenauigkeit von durchschnittlich 1-2 m in x- und y-Richtung und 2-4 m in z-Richtung.

Die Passpunktbestimmung erfolgte mit der Software OrthoBase 8.5 des Programmpaketes ERDAS Imagine. Auch für die weiteren Vorbereitungen für die stereoskopische Auswertung der Bildpaare wurde diese Software benutzt. Die stereoskopische Auswertung der Infrarot-Luftbilder wurde im Gegensatz zu den 1:30'000-Normalfarben-Luftbildern digital mit der Software StereoAnalyst 1.2 des Programmpaketes ERDAS Imagine durchgeführt. Für die Abgrenzung von Flächen wurden Interpretations-, bzw. Abgrenzungskriterien festgelegt (siehe 3.3.3). Die weitere Bearbeitung und Auswertung der abgegrenzten Polygone erfolgte mit der Software ArcView GIS 3.2 und mit MS Excel.

3.3.3 Abgrenzungskategorien

Als Untersuchungsgegenstand galt das gesamte Gebiet auf den Luftbildern, von der Waldgrenze (welche auf den 1:30'000-Luftbildern abgegrenzt worden war) bis zum Bildrand der Luftbilder.

Zunächst erfolgte auf den Luftbildern die Kartierung sämtlicher kleinflächiger Störungen mit einer Mindestgrösse von 900 m² und einem Kronenschluss von weniger als 20%. Anschliessend wurden die Störungen aufgrund folgender Kriterien verschiedenen Kategorien zugeordnet. Als Kriterien wurden „Jungwuchs“, „Totholz liegend“ und „Totholz stehend“ gewählt. Sie wurden folgendermassen definiert:

- Jungwuchs: Gesamte sichtbare Verjüngung.
 - Totholz liegend: Am Boden liegendes Totholz.
 - Totholz stehend: Alle stehenden toten oder subvitalen Bäume.
- Für jedes Kriterium waren drei Ausprägungen möglich, welche durch Prozentanteile des Deckungsgrades bestimmt und beschrieben wurden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kriterien zur Beschreibung der kleinflächig gestörten Waldflächen.

	Code	Beschreibung	Prozentanteil
Jungwuchs	0	kaum/wenig	<10%
	1	mittel	10%-30%
	2	viel	>30%
Totholz liegend	0	kaum/wenig	<10%
	1	mittel	10%-30%
	2	viel	>30%
Totholz stehend	0	kaum/wenig	<10%
	1	mittel	10%-30%
	2	viel	>30%

Jeder möglichen Kombination von den Codes aus Jungwuchs, liegendem Totholz und stehendem Totholz wurde eine Kategorie zugeteilt. Dies ergab 27 verschiedene Kombinationsmöglichkeiten. Durch diese Kombinationsmöglichkeiten nicht abgedeckt wurden Lücken, welche sich durch eine kreisrunde Form auszeichneten und in der Mitte eine runde Fläche mit Jungwuchs und am Rand einen Gürtel mit stehendem Totholz aufwiesen. Diese Lücken wurden mit Kategorie 1 durch die Anmerkung „speziell“ abgedeckt (Tabelle 2). Nach der Kartierung wurden die 28 Kategorien in 11 Störungsklassen zusammengefasst. Die Zusammenfassung erfolgte nach Gemeinsamkeiten verschiedener Kategorien/Kombinationsmöglichkeiten (Tabelle 3).

Tabelle 2: Einteilung der gestörten Waldflächen in verschiedene Kategorien.

	Jungwuchs	Totholz liegend	Totholz stehend	Speziell
Kategorie 1	1	0	1	1
Kategorie 2	1	0	0	0
Kategorie 3	0	1	0	0
Kategorie 4	0	0	1	0
Kategorie 5	1	1	0	0
Kategorie 6	0	1	1	0
Kategorie 7	1	0	1	0
Kategorie 8	1	1	1	0
Kategorie 9	2	2	2	0
Kategorie 10	0	0	2	0
Kategorie 11	0	2	0	0
Kategorie 12	2	0	0	0
Kategorie 13	0	1	2	0
Kategorie 14	2	0	1	0
Kategorie 15	2	1	0	0
Kategorie 16	2	2	1	0
Kategorie 17	2	1	2	0
Kategorie 18	1	2	2	0
Kategorie 19	1	0	2	0
Kategorie 20	1	2	0	0
Kategorie 21	0	2	1	0
Kategorie 22	2	2	0	0
Kategorie 23	2	0	2	0
Kategorie 24	0	2	2	0
Kategorie 25	2	1	1	0
Kategorie 26	1	1	2	0
Kategorie 27	1	2	1	0
Kategorie 28	0	0	0	0

Tabelle 3: Einteilung der gestörten Waldflächen in Klassen, aus Kategorien zusammengefasst.

	Jungwuchs	Totholz liegend	Totholz stehend	Speziell	Kategorien-Nr.
Klasse a	1	0	1	1	1
Klasse b	0	2	0	0	11
Klasse c	1	2	0	0	20
	0	2	1	0	21
	1	2	1	0	27
Klasse d	0	0	2	0	10
	0	1	2	0	13
	1	0	2	0	19
	1	1	2	0	26
Klasse e	1	0	0	0	2
	0	1	0	0	3
	0	0	1	0	4
	1	1	0	0	5
	0	1	1	0	6
	1	0	1	0	7
	1	1	1	0	8
Klasse f	2	1	1	0	25
	2	1	0	0	15
	2	0	1	0	14
	2	0	0	0	12
Klasse g	2	2	0	0	22
	2	2	1	0	16
Klasse h	0	0	0	0	28
Klasse i	2	0	2	0	23
	2	1	2	0	17
Klasse j	0	2	2	0	24
	1	2	2	0	18
Klasse k	2	2	2	0	9

Die Störungsklassen wurden folgendermassen beschrieben:

- Klasse a: Diese Klasse zeichnet sich durch kreisrunde Lücken mit Jungwuchs in der Mitte und stehendem Totholz am Rand aus.
- Klasse b: Bei allen Kategorien kommt sehr viel liegendes Totholz vor. Sowohl Jungwuchs als auch stehendes Totholz sind hingegen gar nicht vorhanden.
- Klasse c: In den Kategorien dieser Klasse kommt ebenfalls überall sehr viel liegendes Totholz vor. Hinzu kommen ein wenig Jungwuchs, wenig stehendes Totholz oder beides.
- Klasse d: In dieser Klasse kommt überall sehr viel stehendes Totholz vor. In Kombination dazu kann wenig oder kein Jungwuchs und wenig oder kein liegendes Totholz vorkommen.
- Klasse e: Klasse e zeichnet sich durch Kombinationen von jeweils wenig oder keinem Jungwuchs, liegendem Totholz oder stehendem Totholz aus, wobei mindestens bei einem Kriterium pro Kategorie mehr als der Code „0“ vorkommen muss.
- Klasse f: Sehr viel Jungwuchs ist bei allen Kategorien dieser Klasse vorhanden. Liegendes und stehendes Totholz kommt wenig bis gar nicht vor.

- Klasse g: Diese Klasse zeichnet sich durch sehr viel Jungwuchs und sehr viel liegendes Totholz aus. Stehendes Totholz fehlt hingegen weitestgehend.
- Klasse h: Dies ist die einzige Klasse, in der weder Jungwuchs noch liegendes noch stehendes Totholz vorkommen.
- Klasse i: Sehr viel Jungwuchs und sehr viel stehendes Totholz in der Kombination mit wenig bis keinem liegenden Totholz kennzeichnet diese Klasse.
- Klasse j: In Klasse j kommt sowohl sehr viel liegendes als auch sehr viel stehendes Totholz vor. Hinzu kommt wenig bis kein Jungwuchs.
- Klasse k: Die letzte Klasse zeichnet sich durch sehr viel von allem aus: Jungwuchs, liegendes und stehendes Totholz.

4 Resultate

4.1 Kartierung von grossflächigen Störungen

Der Untersuchungsgegenstand für die Kartierung von grossflächigen Störungen unterhalb der Waldgrenze umfasst eine Fläche von 37'344'000 m² (Tabelle 4). Auf dieser Fläche basierten sämtliche weitere Berechnungen und die Prozentangaben der Störungskategorien.

In Tabelle 4 werden die Flächen aller Störungskategorien, des verbleibenden ungestörten Waldes und des Untersuchungsgegenstandes, auf 100 m² gerundet, aufgeführt. Dabei zeigt sich, dass der verbleibende ungestörte Wald noch 80,96% des gesamten Untersuchungsgegenstand ausmacht. Die verschiedenen Störungskategorien nehmen im Vergleich dazu nur geringe Flächen ein. Von den 19,04% Störungen sind 13,53% allerdings gar nicht waldfähig. Im Untersuchungsgegenstand gibt es gesamthaft mit inbegriffenem ungestörtem Wald 86,48% waldfähige Standorte und 5,51% nicht waldfähige Standorte.

Tabelle 4: Fläche (gerundet auf 100 m²) und Prozentanteile der einzelnen Störungskategorien im Untersuchungsgegenstand mit Unterscheidung zwischen waldfähigen und nicht waldfähigen Standorten.

	Fläche in m ²	Prozentanteil	Waldfähig
Fliessgewässer	599'800	1.61%	nein
Strasse	106'700	0.29%	nein
See	131'500	0.35%	nein
Weide	792'600	2.12%	ja
Brandfläche	75'500	0.20%	ja
Rutschung	177'100	0.47%	nein
Lawine jung	191'600	0.51%	ja
Lawine mittelalt	880'500	2.36%	ja
Lawine alt	120'400	0.32%	ja
Bachsuttkegel	149'900	0.40%	nein
Felsstandorte	3'885'800	10.41%	nein
Ungestörter Wald	30'233'000	80.96%	ja
Untersuchungsgegenstand	37'344'000	100.00%	
Waldfähige Standorte	32'293'600	86.48%	
Nicht waldfähige Standorte	5'050'800	13.53%	

Abbildung 3 zeigt die Anteile der verschiedenen Störungen im Verhältnis zum gesamten Untersuchungsgegenstand. Auf die einzelnen Störungskategorien wird nachfolgend eingegangen.

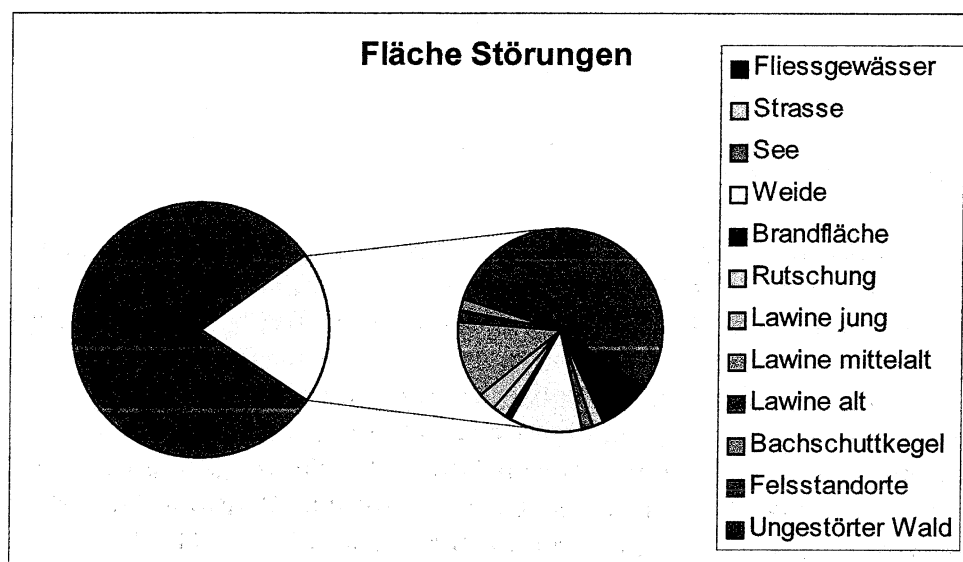


Abbildung 3: Flächenvergleich ungestörter Wald und verschiedene Störungskategorien

Weideflächen machen im Vergleich zum gesamten Untersuchungsgegenstand nur 2,12 % der Fläche aus. Im Vergleich zu den anderen Störungskategorien ist ihr Anteil hingegen eher hoch. Dies erklärt sich durch die flächenintensiven Weiden, die alle in diesem Gebiet vorkommen: Stabelchod, Alp la Schera, Il Fuorn, Champlönch und Grimmels (Abbildung 5). Das Strassenstück, das durch Il Fuorn führt, wird dabei ebenfalls zur Weidefläche gezählt und nicht separat als Strassenfläche ausgewiesen.

Der See, die Fliessgewässer und die Strasse bedecken 2,25% des Untersuchungsgegenstandes, d.h. etwas mehr als die subalpinen Weiden. Dabei sind die jeweiligen Anteile der Strasse und des Sees im Vergleich zu den Fliessgewässern noch um ca. ein Fünffaches geringer. Die Ofenpassstrasse ist die einzige im Nationalpark vorkommende Strasse (Abbildung 6).

Die Einteilung der Fliessgewässer beruhte ebenso wie die Abgrenzung der Strassenfläche auf groben Abschätzungen aufgrund des Orthobildes. Dabei muss beachtet werden, dass der Fluss Ova dal Fuorn und der Fluss Spöl, welche beide durch das Ofenpassgebiet fließen, sehr viel an Fläche ausmachen. Die meisten anderen Fliessgewässer sind kleinere, weniger breite Bergbäche, welche in die beiden breiteren Flüsse münden (Abbildung 6). An Stellen, wo Fliessgewässer sich mit anderen Störungskategorien schneiden, zählen stets diese anderweitig abgegrenzten Störungskategorien. Fliessgewässer beanspruchen dennoch 1,61% des Untersuchungsgegenstandes.

Die einzige Brandfläche im Nationalpark befindet sich im Ofenpassgebiet bei Il Fuorn. Aus diesem Grund wird diese Störung aufgeführt, obwohl auch sie im Vergleich zur Gesamtfläche und zur gesamten Störungsfläche wenig ausmacht, nämlich 0,2% des Untersuchungsgegenstandes.

Bachschuttkegel, d.h. durch Bäche beeinflusste Erosionstrichter und Bachdeltas, kommen im Ofenpassgebiet nicht häufig vor. Sie kommen dort meist bei Gebirgsbächen vor, welche in den Ova dal Fuorn münden (Abbildung 7). Für die Gesamtstörungsfläche sind Bachschuttkegel mit einem Flächenanteil von 0,4% wenig bedeutsam.

Rutschungen sind im Ofenpassgebiet vergleichsweise wenige vorhanden. Sie nehmen 0,47% der Fläche ein. Einige kleine Rutschungen befinden sich im Gebiet zwischen Alp Stabelchod und der Nationalparkgrenze im Osten. Wenige grössere Rutschungen kommen hingegen um den Munt la Schera und auf der westlichen Hangseite des Spöl vor (Abbildung 7).

In der Nähe von Alp la Schera und Munt la Schera sind auffällig viele Lawinenzüge vorhanden. In Abbildung 7 sieht man unter anderem das Vorkommen eines Lawinenzuges beim Munt la Schera, bei welchem der obere Teil jünger ist und der untere Teil älter. Auch eine Rutschung kann den oberen Teil eines Lawinenzuges bedecken, wobei der untere Teil eines Lawinenzuges noch sichtbar ist, oder sie kann in einen Lawinenzug hineinreichen. Mittelalte Lawinenzüge kommen am häufigsten vor und nehmen im Vergleich zu den anderen beiden Lawinenzugkategorien mit 2,36% ca. fünfmal mehr Fläche ein als junge (0,51%) und alte Lawinenzüge (0,32%). Ein Beispiel für einen mittelalten Lawinenzug vom Gebiet bei Alp la Schera ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 4: Ein mittelalter Lawinenzug im Gebiet Alp la Schera.

Das Ofenpassgebiet ist mit vielen Felsen durchzogen (Abbildung 8), deshalb nehmen die grob abgeschätzten Felsstandorte im Vergleich zu den anderen Störungen eine viel grössere Fläche ein. Sie bedecken 10,41% des Untersuchungsgegenstandes. Dies ist etwas mehr als all die anderen Störungskategorien zusammen (Abbildung 3).

Von einer insgesamt waldfähigen Fläche von 32'293'600 m² sind 6,37% Störungen betroffen. Lawinenzüge machen dabei 3,69% dieser Störungen aus, subalpine Weiden beanspruchen 2,45% und die Brandfläche 0,23% der waldfähigen Fläche. Nicht waldfähig hingegen sind Strasse, See, Fliessgewässer, Bachschuttkegel, Rutschungen und Felsstandorte.

Alle grossflächigen Störungskategorien und der ungestörte Wald sind in Abbildung 9 über dem Orthobild der 1:30'000-Luftbilder dargestellt und in Abbildung 10 innerhalb der Nationalparkgrenze.

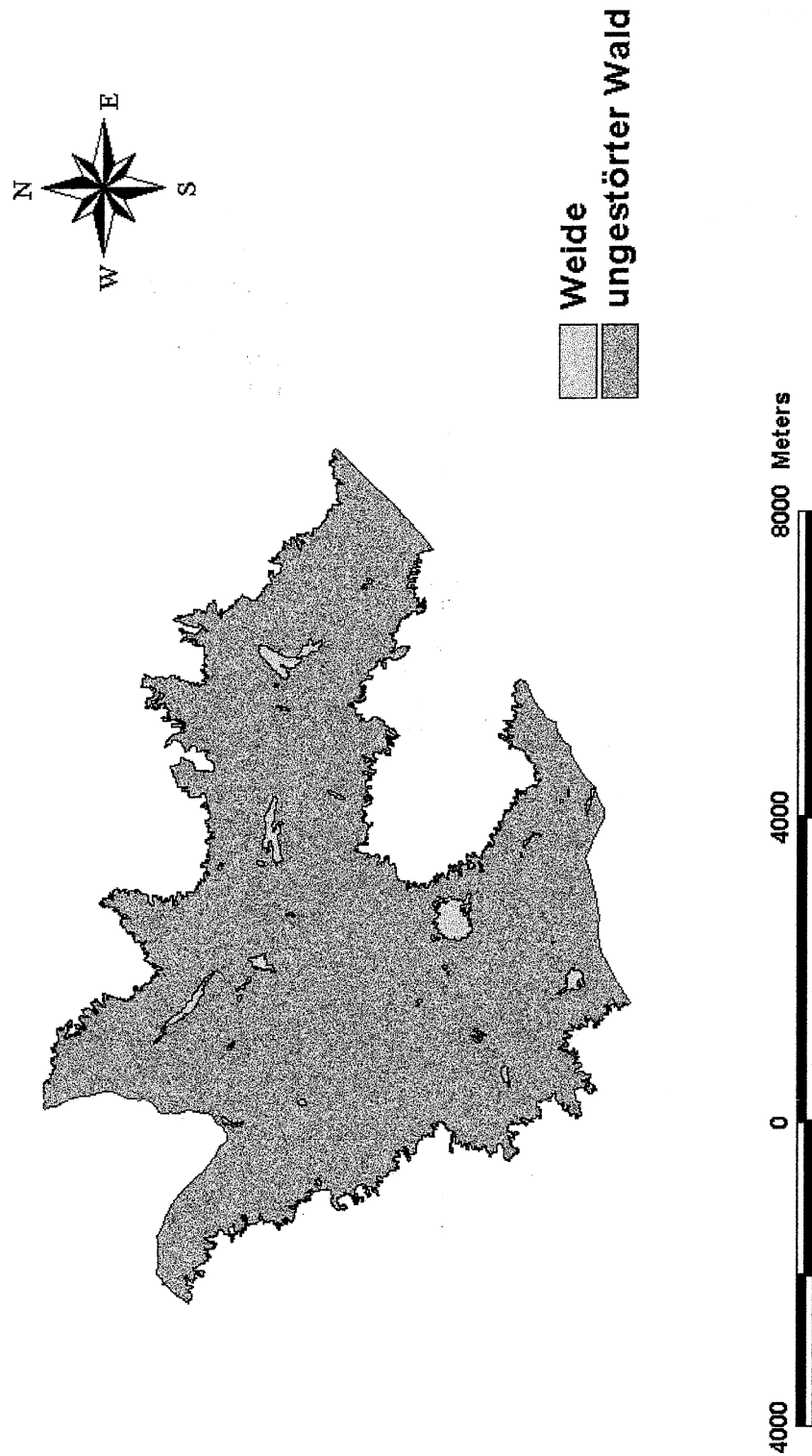


Abbildung 5: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Weiden.

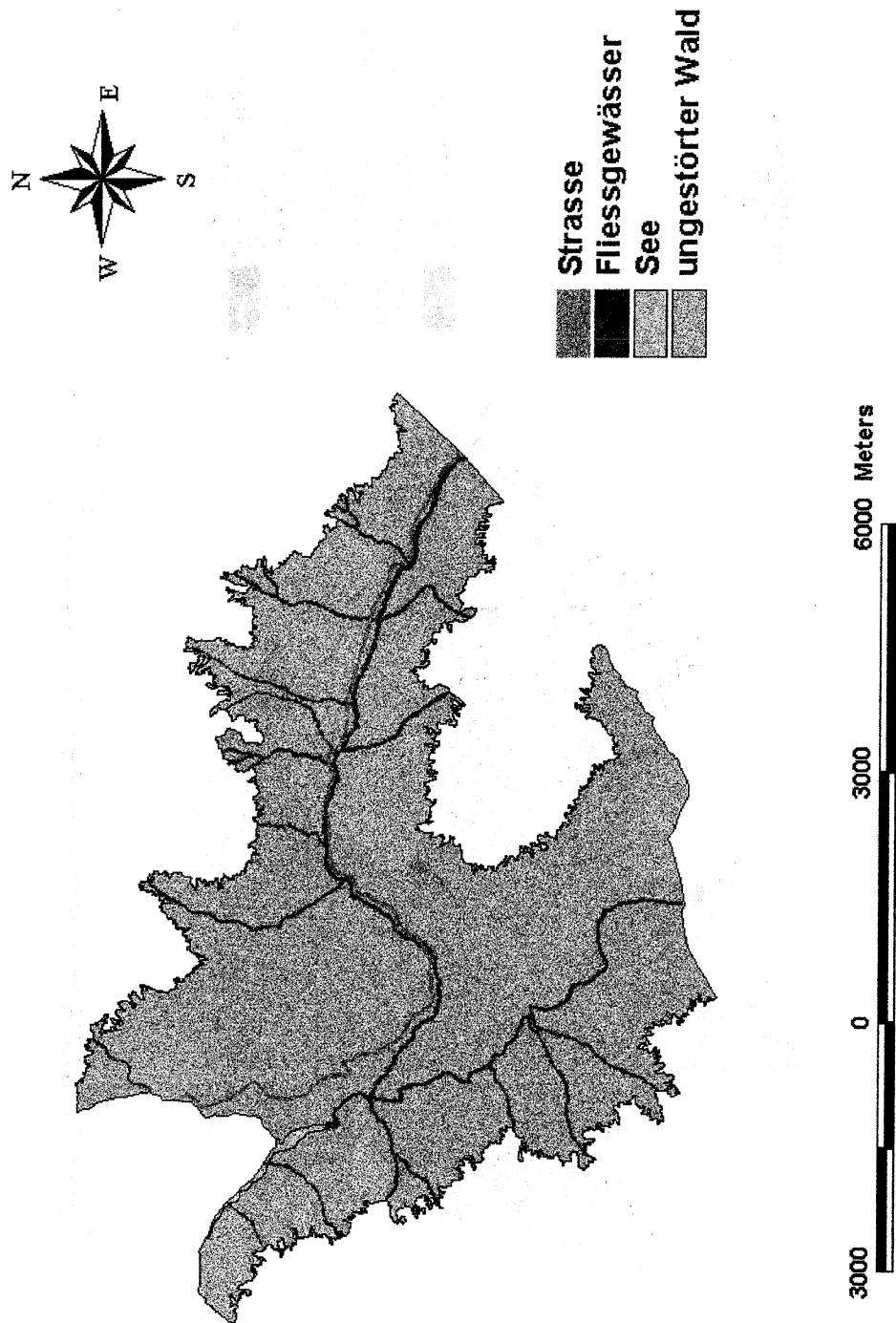


Abbildung 6: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von See, Fließgewässern und Strasse.

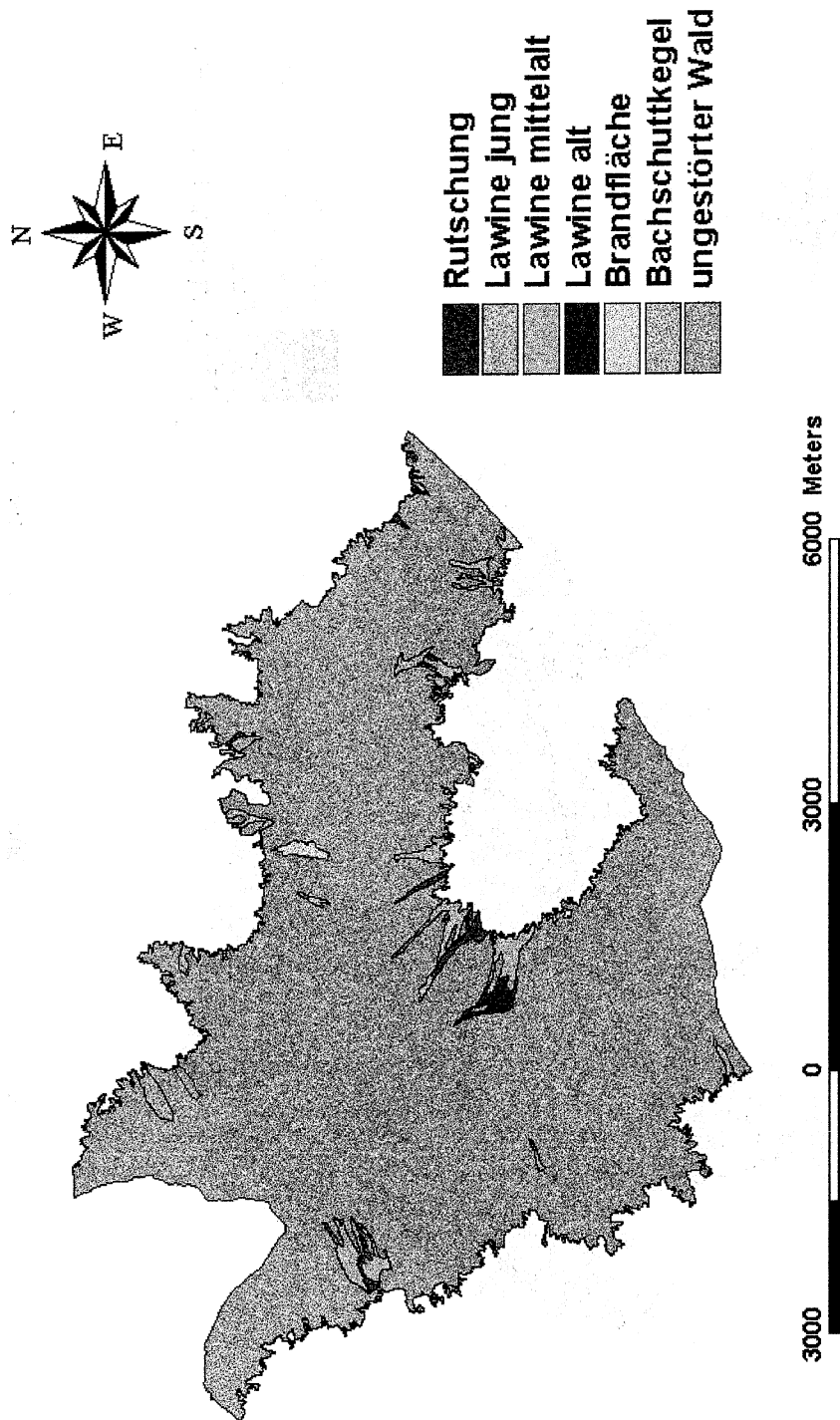


Abbildung 7: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Rutschungen, Lawinen, Brandflächen und Bachschuttkegeln.

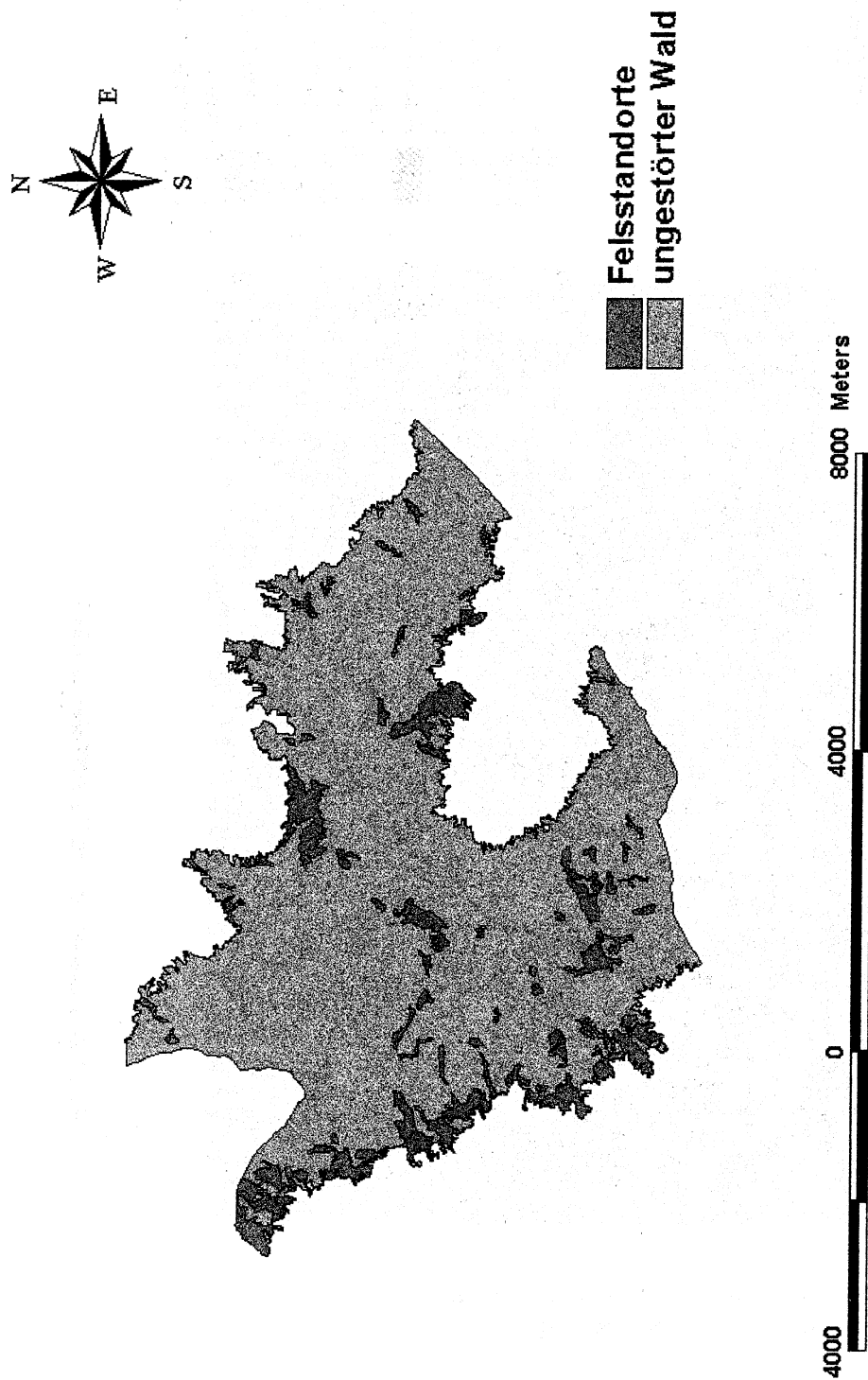


Abbildung 8: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Felsstandorten.

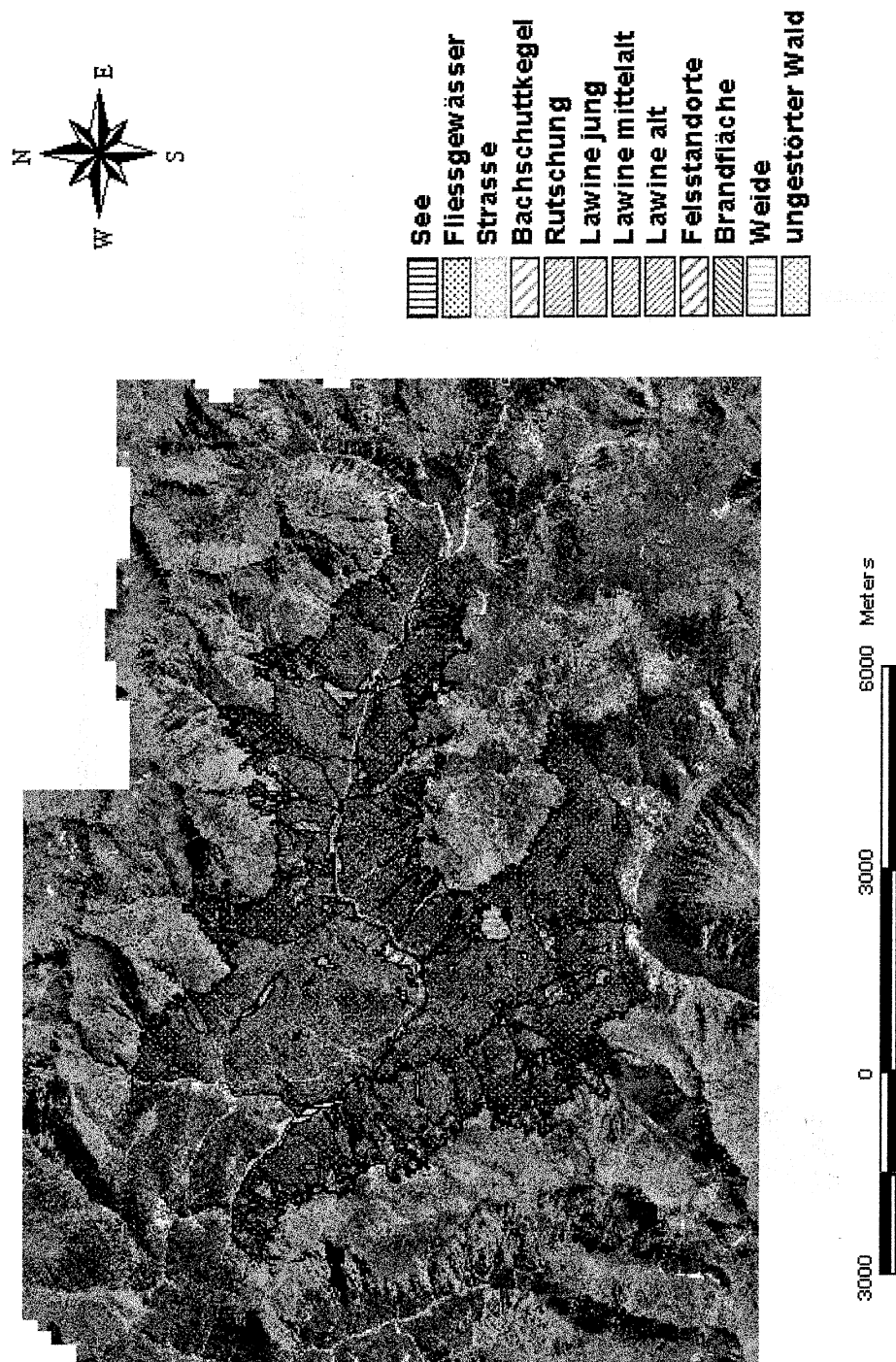


Abbildung 9: Orthobild der 1:30'000-Luftbilder mit Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und allen grossflächigen Störungen.

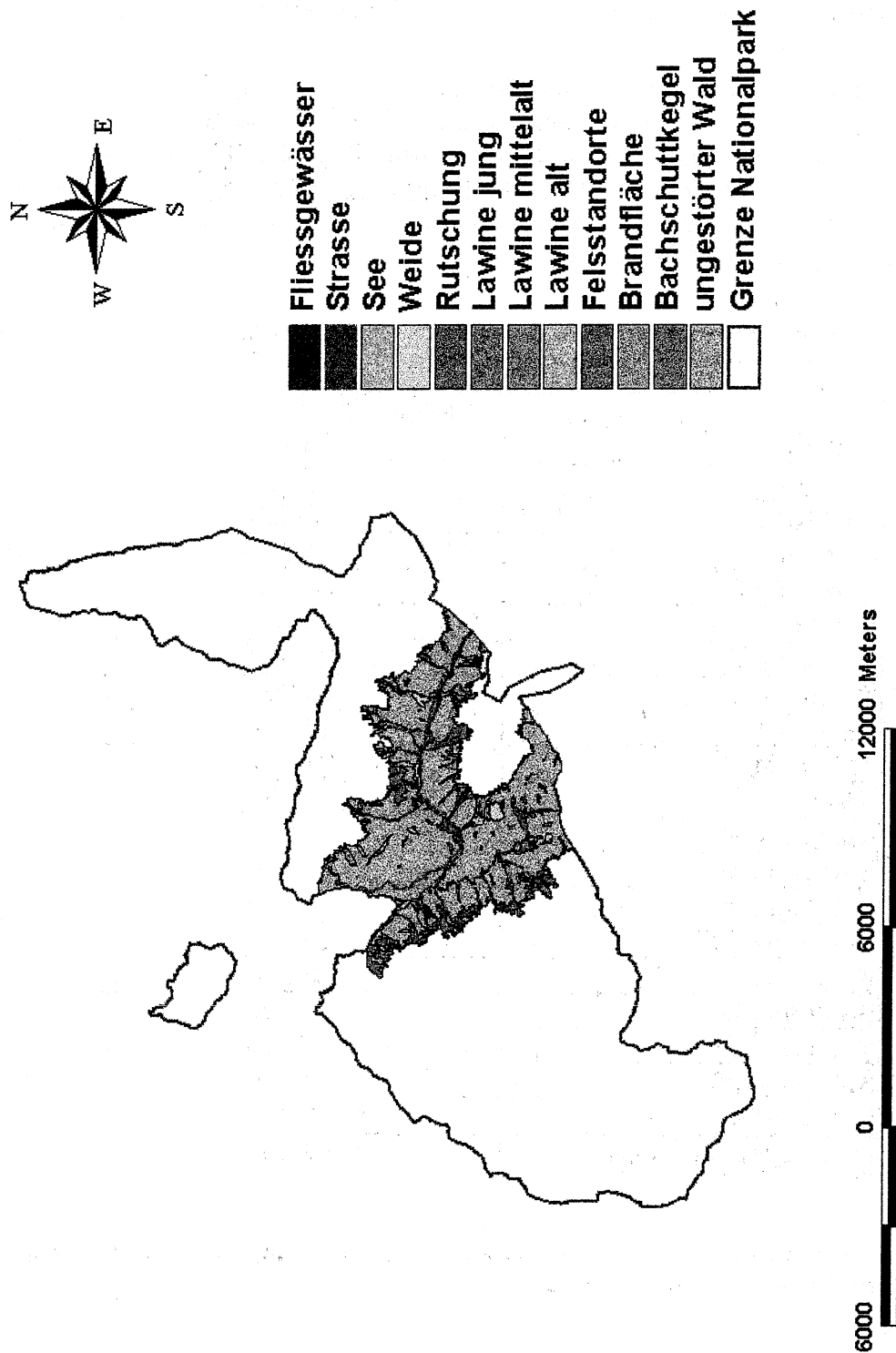


Abbildung 10: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung aller grossflächigen Störungen und der Nationalparkgrenze.

4.2 Kartierung von kleinflächigen Störungen

4.2.1 Betrachtung auf kleinflächige Störungen beschränkt

Der Untersuchungsgegenstand für die Kartierung von kleinflächigen Störungen umfasste insgesamt eine Fläche von 13'391'400 m². Diese Störungen wurden zuerst nach sichtbaren Kriterien in Kategorien unterteilt (siehe 3.3.3). Ungestörte Waldbestände bedecken 97,81% des Untersuchungsgegenstandes (Tabelle 5). Die gesamten kleinflächigen Störungen machen folgedessen nur gerade 2,19% der Fläche des Untersuchungsgegenstandes aus.

Tabelle 5: Fläche (gerundet auf 100 m²) und Prozentanteil der kleinflächigen Störungen, in Kategorien aufgeteilt, im Untersuchungsgegenstand.

	Fläche in m ²	Prozentanteil
Kategorie 1	6'400	0.05%
Kategorie 2	5'500	0.04%
Kategorie 3	9'300	0.07%
Kategorie 4	4'200	0.03%
Kategorie 5	31'500	0.24%
Kategorie 6	3'300	0.02%
Kategorie 7	26'800	0.20%
Kategorie 8	24'800	0.19%
Kategorie 11	18'100	0.14%
Kategorie 12	21'100	0.16%
Kategorie 14	12'700	0.09%
Kategorie 15	7'200	0.05%
Kategorie 19	4'700	0.04%
Kategorie 20	45'400	0.34%
Kategorie 22	35'200	0.26%
Kategorie 25	16'900	0.13%
Kategorie 26	5'500	0.04%
Kategorie 27	6'400	0.05%
Kategorie 28	7'700	0.06%
Ungestörter Wald	13'098'700	97.81%
Untersuchungsgegenstand	13'391'400	100.00%

Von den 28 verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Kriterien (siehe 3.3.3), d.h. den 28 Kategorien, kommen im Ofenpassgebiet nicht alle vor. Die Kategorien 9, 10, 13, 16, 17, 18, 21, 23 und 24 fehlen (Tabelle 5). Aus diesem Grund sind auch nicht alle Klassen vorhanden (Klassen i, j und h; Abbildung 15). In Tabelle 6 werden die Flächenanteile (gerundet auf 100 m²) der einzelnen Störungsklassen, des ungestörten Waldes und des Untersuchungsgegenstandes aufgeführt.

Tabelle 6: Fläche (gerundet auf 100 m²) und Prozentanteil der kleinflächigen Störungen, in Klassen aufgeteilt, im Untersuchungsgegenstand.

	Fläche in m ²	Prozentanteil
Klasse a	6'400	0.05%
Klasse b	18'100	0.14%
Klasse c	51'800	0.39%
Klasse d	10'200	0.08%
Klasse e	105'300	0.79%
Klasse f	57'900	0.43%
Klasse g	35'200	0.26%
Klasse h	7'700	0.06%
Ungestörter Wald	13'098'800	97.82%
Untersuchungsgegenstand	13'391'400	100.00%

Der Vergleich der einzelnen Störungsklassen untereinander wird in Abbildung 11 dargestellt. Die Verteilung der Störungsklassen im Raum wird in Abbildung 15 gezeigt.

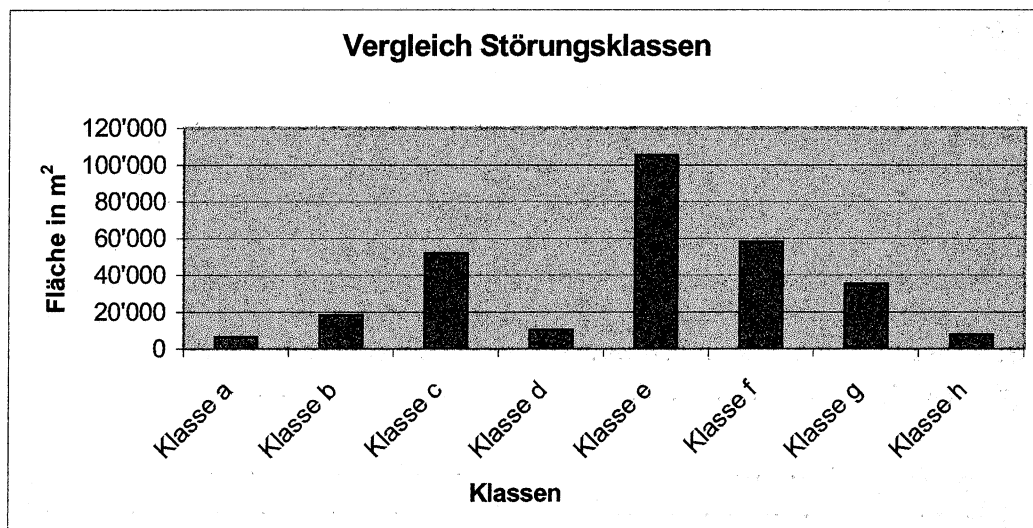


Abbildung 11: Häufigkeit der einzelnen kleinflächigen Störungsklassen.

Im Feld als „Hallimasch“-Lücken interpretierte Störungen konnten auf den Luftbildern nicht identifiziert werden. Sie zeichneten sich im Feld durch ihre kreisrunde Form, viel stehendem und wenig liegendem Totholz und einem randlichen Gürtel mit viel Jungwuchs aus, wobei die Regeneration vom Rand her erfolgt. Den einzelnen Störungsklassen können folgende Ursachen zugeordnet werden:

- Klasse a mit den kreisrunden Lücken mit Jungwuchs in der Mitte und stehendem Totholz am Rand wird als „Hallimasch“-Lücken mit Regeneration vom Zentrum aus zum Rand hin angesehen.
- Klasse b mit viel liegendem Totholz zeigt junge durch Windwurf oder Schneedruck bedingte Lücken.
- Das viele Totholz in Lücken der Klasse c mit wenig Jungwuchs und stehendem Totholz wird daher durch älteren Windwurf bzw. Schneedruck erklärt.
- Klasse d mit viel stehendem Totholz wird als junge altersbedingte Lücken verstanden, da kaum Jungwuchs und kaum liegendes Totholz vorhanden ist.

- Verschiedene Kombinationen von wenig oder keinem Jungwuchs, stehendem und liegendem Totholz in den Lücken von Klasse e deuten auf junge undefinierbare Störungen hin.
- Klasse f zeichnet sich durch viel Jungwuchs aus mit wenig stehendem und liegendem Totholz. Dies zeigt ältere undefinierbare Störungen.
- Klasse g wird mit alten Windwurf- bzw. Schneedrucklücken gleichgesetzt, da sowohl viel liegendes Totholz als auch viel Jungwuchs vorhanden ist, aber stehendes Totholz weitestgehend fehlt.
- Klasse h wird als Standort mit besonderer Bodensituation angesehen. Der Standort gilt als nicht waldfähig, da zwar Vegetation vorhanden ist, aber weder Jungwuchs noch stehendes noch liegendes Totholz vorkommt.
- Lücken der Klasse i kommen im Untersuchungsgegenstand nicht vor. Sie werden aber als ältere altersbedingte Lücken verstanden, da viel Jungwuchs und stehendes Totholz diese Klasse kennzeichnet.
- Auch Klasse j mit viel Jungwuchs und stehendem Totholz ist im Untersuchungsgegenstand nicht vorhanden. Diese Klasse ist eine Kombination, durch Windwurf bedingt und gefolgt von altersbedingtem Absterben.
- Klasse k wird im Untersuchungsgegenstand ebenfalls nicht vorgefunden. Mit der Ausprägung „viel“ in allen Kriterien zeigt sie eine ältere Version der Lücken von Klasse j.

Die Klassen können aufgrund ihrer Ursachen nochmals in Einheiten zusammengefasst werden. Klasse a bleibt eine einzelne Klasse. Die Klassen b, c und g mit ihren verschiedenen Stadien von Windwurf oder Schneedruck werden zusammengefasst. Klasse d und i werden zusammengefasst, da sie verschiedene Stadien von Alterslücken darstellen. Die Klassen e und f bilden eine weitere Einheit und bezeichnen undefinierbare Störungen. Klasse h wird nicht mit anderen zusammengefasst, da sie als Einzige nicht waldfähige Standorte aufweist. Schliesslich werden der Vollständigkeit halber auch die nicht vorkommenden Klassen j und k als Kombination von Windwurf, bzw. Schneedruck mit Alterslücke zusammengefasst.

Tabelle 7: Fläche (gerundet auf 100 m²) und Prozentanteil der kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt, im Untersuchungsgegenstand mit Unterscheidung zwischen waldfähigen und nicht waldfähigen Standorten.

	Fläche in m ²	Prozentanteil	Waldfähig
Klasse a: Hallimasch	6'400	0.05%	ja
Klasse b, c, g: Windwurf / Schneedruck	105'100	0.78%	ja
Klasse d: Alter	10'200	0.08%	ja
Klasse e, f: Undefinierbare Störung	163'200	1.22%	ja
Klasse h: Besondere Bodensituation	7'700	0.06%	nein
Ungestörter Wald	13'098'800	97.82%	ja
Untersuchungsgegenstand	13'391'400	100.00%	
Waldfähige Standorte	13'383'700	99.94%	
Nicht waldfähige Standorte	7'700	0.06%	

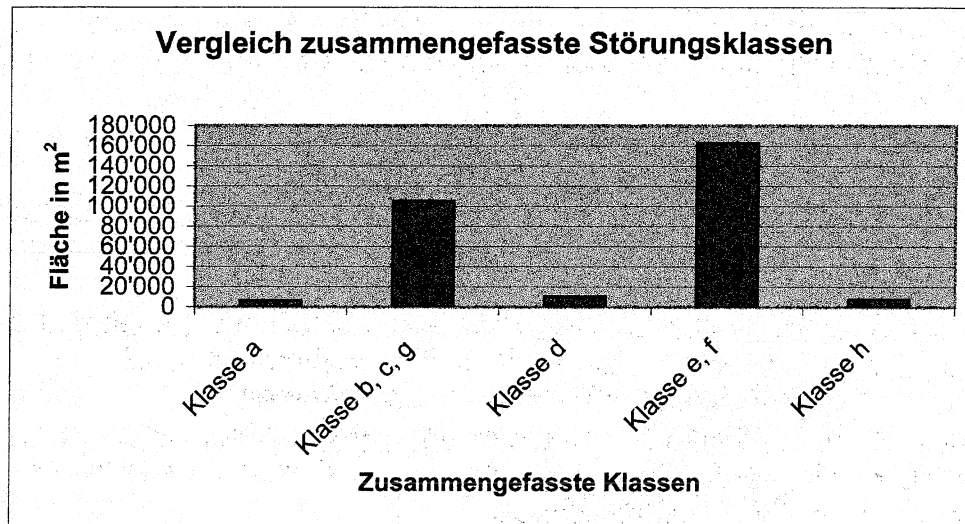


Abbildung 12: Häufigkeit der zusammengefassten kleinflächigen Störungsklassen.

Tabelle 7 zeigt die Flächenanteile der zusammengefassten Klassen, des ungestörten Waldes und des Untersuchungsgegenstandes. Die Verteilung der zusammengefassten Störungsklassen wird in Abbildung 12 dargestellt. Im Gebiet um Stabelchod und das Val dal Botsch wie auch Champlönch sind gehäuft kleinflächige Störungen anzutreffen (Abbildung 15). Der Flächenanteil der Störungsklasse a (Hallimasch) ist mit 0,05% der Fläche des Untersuchungsgegenstandes am geringsten im Vergleich mit den anderen zusammengefassten Störungsklassen. Die anderen beiden einzeln verbliebenen Klassen, Klasse h (besondere Bodensituation) mit einem Anteil von 0,06% und Klasse d (Alter) mit einem Anteil von 0,08% sind beinahe gleich niedrig. Klasse a und Klasse d kommen nur selten im Waldareal vor, beide beim Val dal Botsch und südlich von Stabelchod (Abbildung 15). Klasse h hingegen kommt nur in der Nähe von Champlönch vor. Die Klassen b, c und g (Windwurf / Schneedruck) nehmen gemeinsam sehr viel mehr Fläche ein, 0,78% des Untersuchungsgegenstandes. Klasse b liegt hauptsächlich nordöstlich von Stabelchod, Klasse g nördlich in der Gegend von Stabelchod und Klasse c vor allem grossräumig im Gebiet Stabelchod und zum Teil im Gebiet Champlönch (Abbildung 15). Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen Beispiele für Windwurf oder Schneedruck. Die Klassen e und f (undefinierbare Störung) beanspruchen die grösste Fläche, und zwar 1,22%. Beide Klassen kommen über den gesamten Untersuchungsgegenstand verteilt vor. Klasse e zeigt zusätzlich Anhäufungen im Gebiet Stabelchod und Champlönch. Klasse h mit besonderer Bodensituation bzw. besonderen Standortverhältnissen ist die einzige nicht waldfähige Störungsklasse. Die Vorkommen der zusammengefassten Störungsklassen sind in Abbildung 16 sichtbar.

Von 13'383'700 m² waldfähiger Fläche im Untersuchungsgegenstand sind 2,14% Störungen vorhanden. Diese werden durch undefinierbare Störungen (1,22%), Windwurf oder Schneedruck (0,79%), Alter (0,08%) und Hallimasch-Löchern (0,05%) gebildet.

In Abbildung 17 sind über dem Orthobild der 1:10'000-Luftbilder der Untersuchungsgegenstand und die kleinflächigen Störungen in zusammengefassten Klassen dargestellt und in Abbildung 18 der Untersuchungsgegenstand innerhalb der Nationalparkgrenze.



Abbildung 13: Standort mit Windwurf bzw. Schneedruck bei Alp Stabelchod.



Abbildung 14: Standort mit Windwurf bzw. Schneedruck bei Alp Stabelchod.

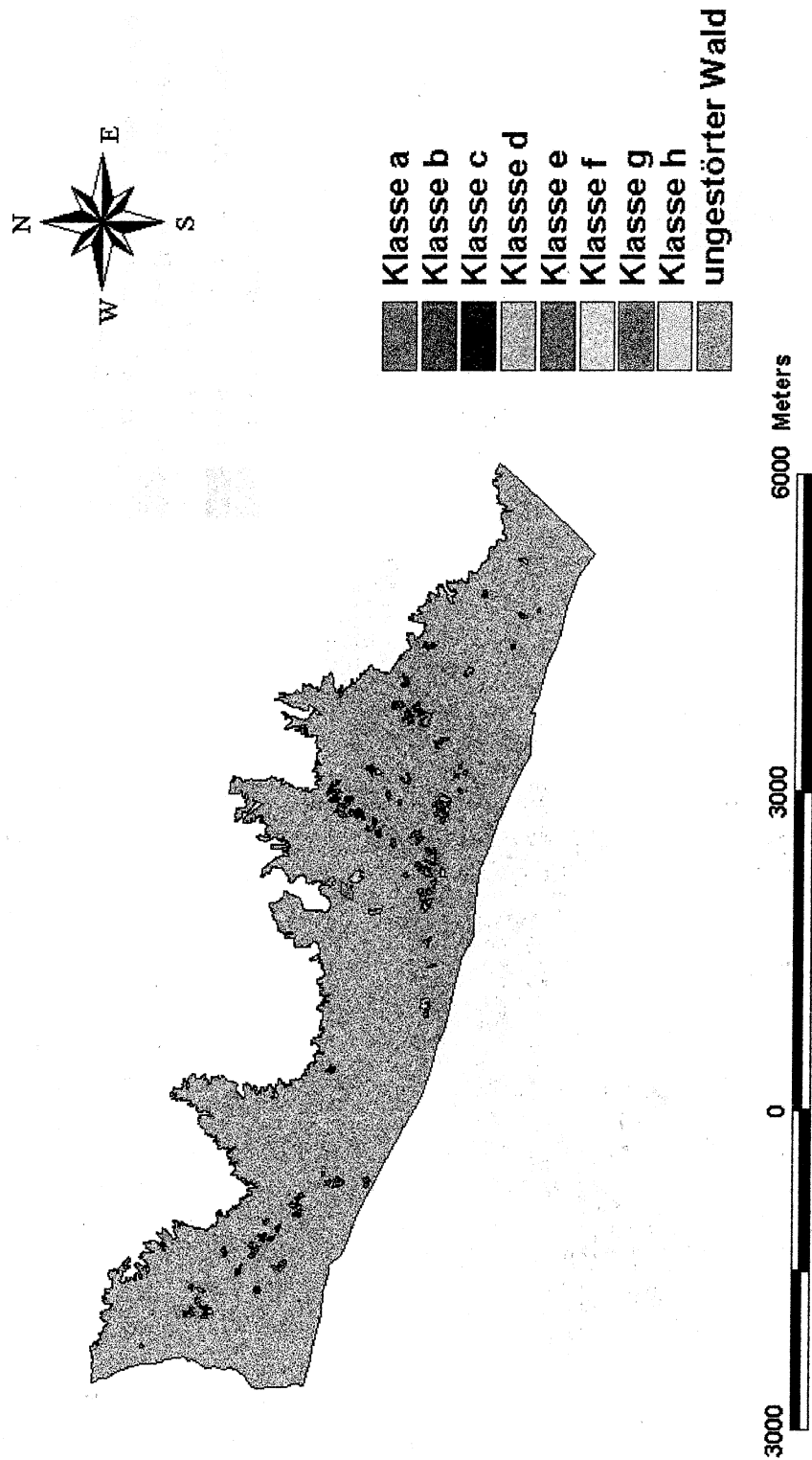


Abbildung 15: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von kleinflächigen Störungen, in Klassen aufgeteilt.

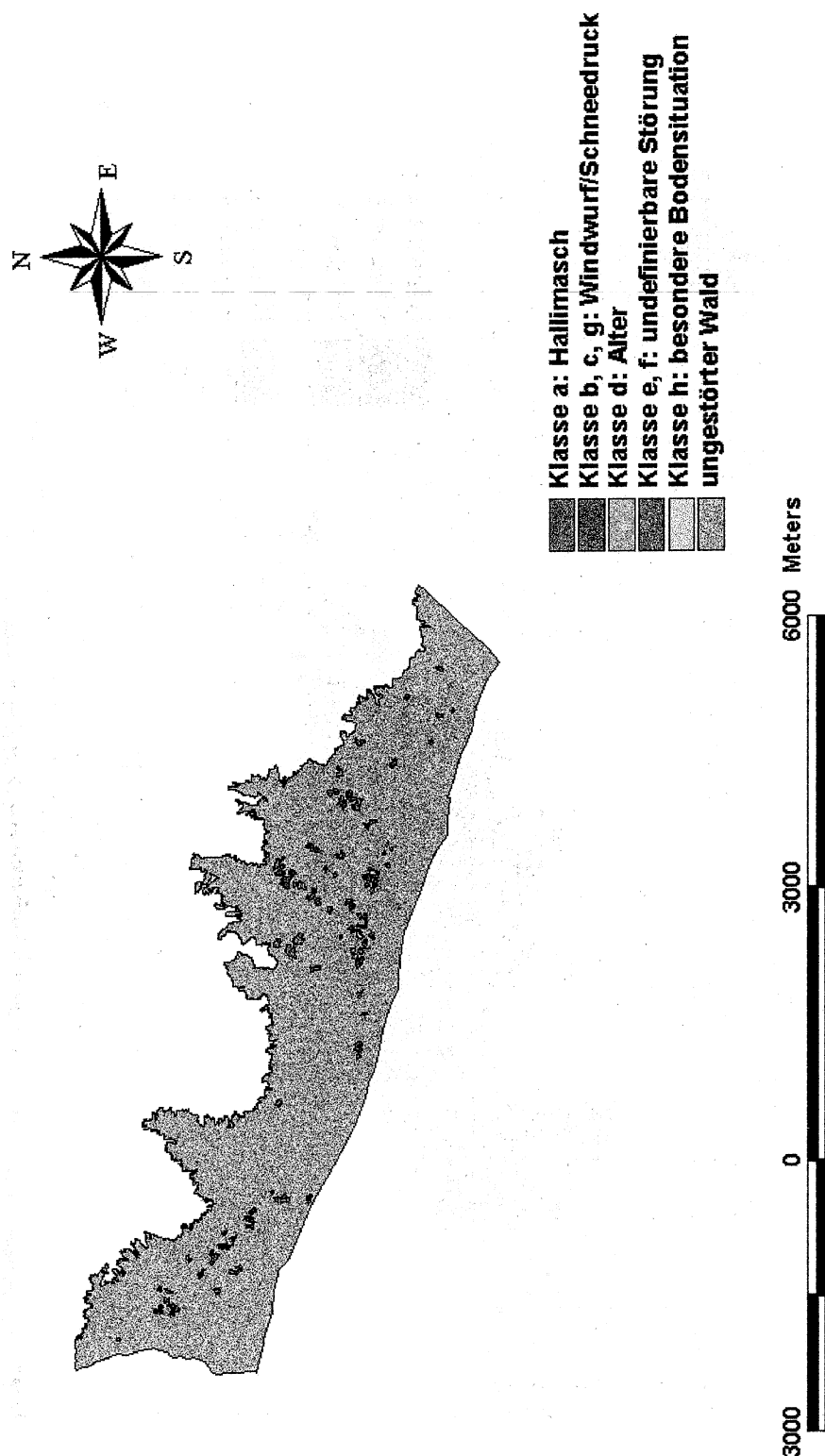


Abbildung 16: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt.

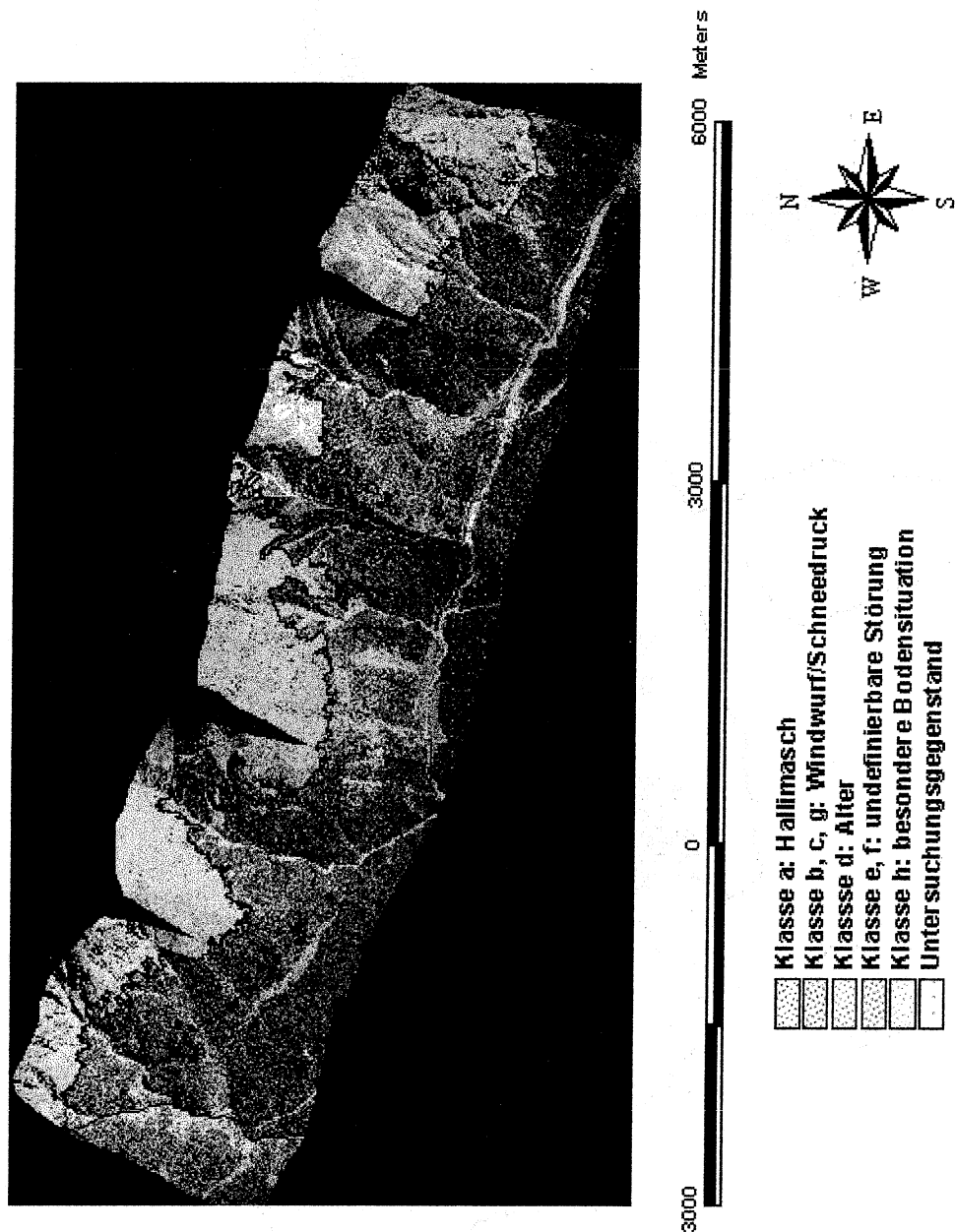


Abbildung 17: Orthobild der 1:10'000-Luftbilder mit Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt.

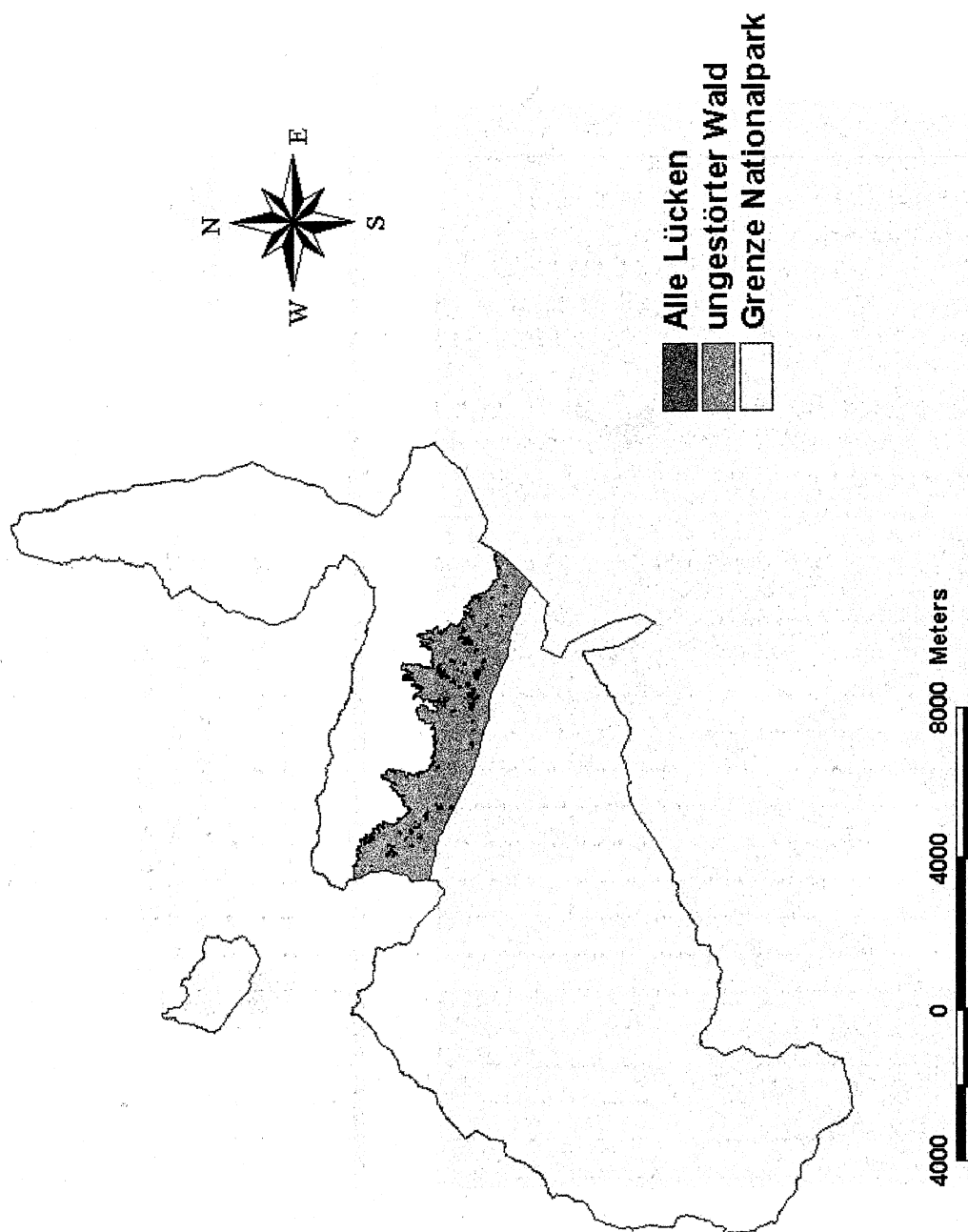


Abbildung 18: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung aller kleinflächigen Störungen und der Nationalparkgrenze.

4.2.2 Betrachtung von allen Störungen (gross- und kleinflächige)

Wenn in die Betrachtung der kleinflächigen Störungen auch die grossflächigen einbezogen werden (siehe 4.1), können Vergleiche zwischen den gross- und den kleinflächigen Störungen gezogen werden. Der gesamte Untersuchungsgegenstand für die Betrachtung von kleinflächigen Störungen liegt innerhalb des Untersuchungsgegenstandes für die Betrachtung von grossflächigen Störungen. Aus diesem Grund können die in diesem Teil liegenden grossflächigen Störungen übernommen werden. Die ungestörten Waldbestände bedecken bei Einbezug von klein- wie auch grossflächigen Störungen 82,6% des Untersuchungsgegenstandes (Tabelle 8). Tabelle 8 zeigt, dass von den waldfähigen Standorten die kleinflächigen Störungen - zumindest im untersuchten Gebiet – mehr Fläche betreffen als Lawinenzüge. Flächenmässig am bedeutendsten bleiben mit 2,66% die von Menschen geschaffenen subalpinen Weiden (Abbildung 19). Sämtliche vorkommenden gross- und kleinflächigen Störungen im Untersuchungsgegenstand sind in Abbildung 20 dargestellt.

Tabelle 8: Fläche (gerundet auf 100 m²) und Prozentanteil der gross- und kleinflächigen Störungen im Untersuchungsgegenstand.

	Fläche in m ²	Prozentanteil	Waldfähig
Fliessgewässer	344'200	2.57%	nein
Strasse	59'900	0.45%	nein
See	0	0.00%	nein
Weide	355'900	2.66%	ja
Brandfläche	75'500	0.56%	ja
Rutschungen	39'600	0.30%	nein
Lawine jung	191'200	1.43%	ja
Lawine mittelalt	30'400	0.23%	ja
Lawine alt	0	0.00%	ja
Bachschtkegel	149'900	1.12%	nein
Felsstandorte	790'600	5.90%	nein
kleinflächige Lücken, waldfähig	285'000	2.13%	ja
kleinflächige Lücken, nicht waldfähig	7'700	0.06%	nein
Ungestörter Wald	11'061'600	82.60%	ja
Untersuchungsgegenstand	13'391'400	100.00%	
Waldfähige Standorte	11'999'600	89.66%	
Nicht waldfähige Standorte	1'391'900	10.34%	

Die 11'999'600 m² grosse waldfähige Fläche enthält 8,07% Störungen. Kleinflächige Störungen nehmen 2,38% der waldfähigen Fläche ein und grossflächige Störungen mehr als doppelt soviel, 5,69%. Den grössten Flächenanteil machen subalpine Weiden aus (2,97%), danach kommen die unterschiedlich alten Lawinenzüge (insgesamt 2,09%). undefinierbare Störungen sind mit 1,36% vertreten, Windwurf und Schneedruck mit 0,88%, die Brandfläche mit 0,63% und zum Schluss altersbedingte Lücken mit 0,08% und Hallimasch-Lücken mit 0,05%.

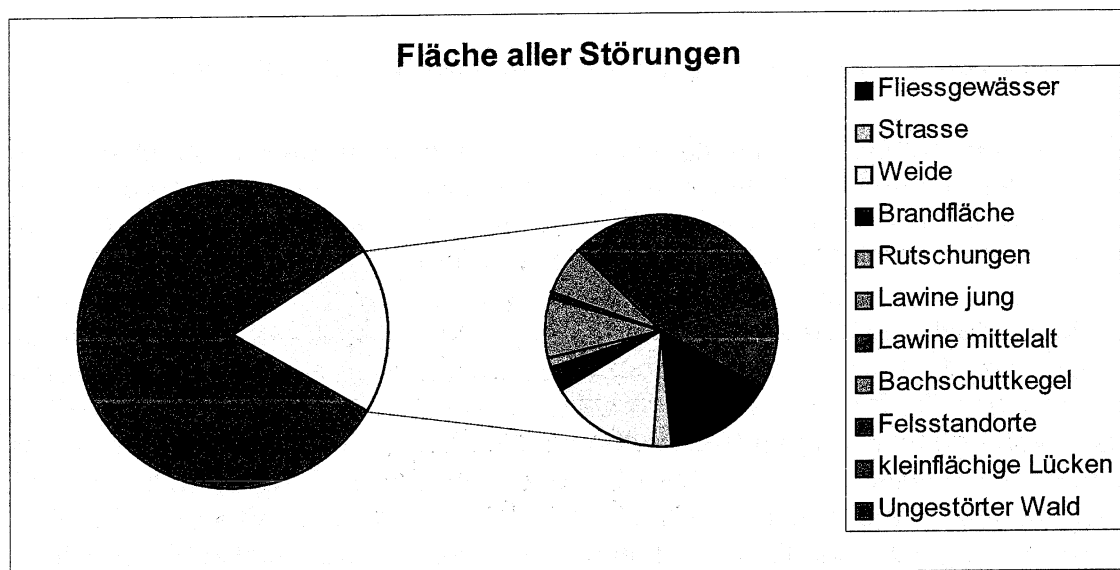


Abbildung 19: Flächenvergleich ungestörter Wald, gross- und keinflächige Störungen.

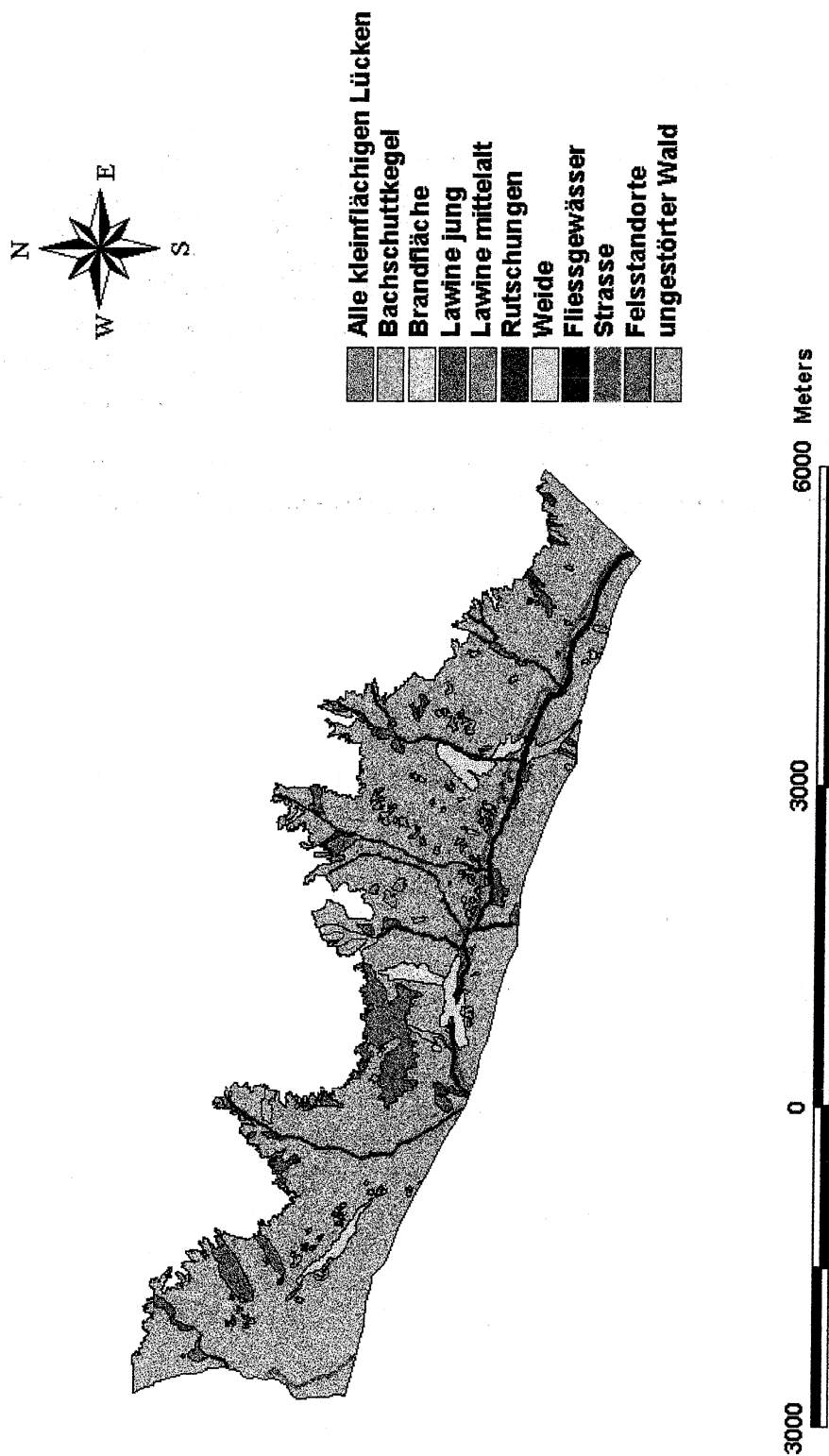


Abbildung 20: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von gross- und kleinflächigen Störungen.

5 Diskussion

5.1 Luftbildanalyse

Methodisch war vor allem die Delinierung der Waldgrenze zum Teil schwierig. Auch kann aufgrund des Lichteinfalls während der Aufnahmezeit der Luftbilder an einigen Stellen auf den Luftbildern Schattenwurf entstehen, was zu Fehlinterpretationen bei der Kartierung führen kann. Auch die Unterscheidung verschieden alter Lawinenzüge war zum Teil nicht einfach. Felsstandorte wurden wegen ihrer Grösse und Häufigkeit im Vergleich zu den anderen Störungen nur grob kartiert. Da die späteren Flächenberechnungen alle auf 100 m² gerundet wurden, waren diese Ungenauigkeiten aber vernachlässigbar. Auf die Durchführung einer Genauigkeitsanalyse wurde verzichtet, da stets im gleichen System gearbeitet wurde. Die Störungen wurden alle aufgrund der Luftbilder oder Orthobilder kartiert und es gab keine Überlappungen mit anderem Kartenmaterial. Insbesondere auf die Flächenanteile der verschiedenen Störungstypen hatte die zum Teil schwierige Abgrenzung nur einen marginalen Einfluss. Auch die Tuschestrichbreite, welche im Feld 5,4 m entspricht, konnte vernachlässigt werden, da bei der Vektorisierung der entzerrten Folien der Strich jeweils in die Mitte vektorisiert wurde.

Im Hinblick auf das verwendete Luftbildmaterial waren deutliche Unterschiede zwischen den Infrarot-Luftbildern im Massstab 1:10'000 und den Normalfarben-Luftbildern im Massstab 1:30'000 ersichtlich. Auf den Infrarot-Luftbildern waren einzelne Störungen viel besser sichtbar und konnten im Allgemeinen besser abgegrenzt werden. Für die Abgrenzung der grossflächigen Störungen reichte das verwendete Bildmaterial im Massstab 1:30'000 aber vollständig aus.

5.2 Störungstypen

Der Schweizerische Nationalpark weist insgesamt eine Fläche von 169 km² auf. Untersucht wurde nur das Fuorn-Tal unterhalb der Waldgrenze. Grossflächige Störungen wurden in einem Gebiet von 37,34 km² untersucht, kleinflächige Störungen auf einer Testfläche von 13,39 km² innerhalb des Testgebietes für grossflächige Störungen. Nach Kurth et al. (1960) umfasste 1957 die Waldfläche 52,5 km² von damals insgesamt 158,7 km² Nationalparkfläche; In der Zeit der Untersuchungen von Kurth et al. gehörten die südliche Hangseite des Val Trupchun und die Seen von Macun noch nicht zum Park. Insbesondere das 37 km² grosse Untersuchungsgebiet deckt also einen erheblichen Teil der Parkwälder ab.

Die Resultate zeigen deutlich, dass die verschiedenen Störungen, sowohl gross-, wie auch kleinflächig, insgesamt nur eine kleine Rolle spielen. Von dem auf grossflächige Störungen untersuchten Gebiet von 37,34 km² entfielen 32,29 km² auf waldfähige Standorte. Von den waldfähigen Flächen waren 6,37% von auf den Luftbildern im Massstab 1:30'000 erkennbaren Störungen betroffen: 3,69% Lawinenzüge, 2,45% subalpine Weiden und 0,23% Brandflächen.

Mit 3,69% waren Lawinenzüge aller Altersstufen die bedeutendsten natürlichen, abiotischen Störungen. Lawinenzüge sind auch auf der auf Feldaufnahme basieren-

den Vegetationskarte von Campell und Trepp (1968) im Massstab 1:10'000 zu erkennen. Die von Campell und Trepp (1968) kartierten Vegetationseinheiten von Lawinenrutschen bei Munt la Schera stimmen gut mit den von mir auf den Luftbildern ausgeschiedenen Lawinenzügen überein. Auf der Vegetationskarte des Schweizerischen Nationalparks von Zoller (1995) im Massstab 1:50'000 sind die Lawinenzüge wesentlich schlechter zu erkennen als auf der Vegetationskarte von Campell und Trepp (1968).

Nach den Lawinenzügen die zweitwichtigsten Störungen waren die subalpinen Weiden mit einem Anteil von 2,12% der waldfähigen Fläche. Bei den subalpinen Weiden handelt es sich um anthropogene Störungen; sie wurden lange vor der Nationalparkgründung durch Holzschlag und Weidenutzung geschaffen.

Mit 75'500 m² nahm die Brandfläche mit 0,23% der waldfähigen Flächen deutlich weniger Fläche ein als die Lawinenzüge und die subalpinen Weiden. Die Brandfläche nordöstlich von Il Fuorn wird zu den natürlichen Störungen gezählt, obwohl sie strenggenommen anthropogen ist. Der Brand im Frühling 1951 entstand bei Aufräumarbeiten nach einem Lawinenniedergang bei Il Fuorn (Geissler und Hartmann 2000). Nach Angaben von Geissler und Hartmann (2000) wurde die Ausdehnung der Brandfläche bei Il Fuorn von Campell und Trepp (1968) mit knapp 63'000 m² angegeben. Die unterschiedlichen Flächengrößen resultieren vermutlich aus den unterschiedlichen Methoden der Kartierungen.

Als nicht waldfähig betrachtet wurden die folgenden Flächen: Strasse, Stausee, Fliessgewässer, Erosionstrichter von Bächen und Bachdeltas, Rutschungen und Felsstandorte. Zusammen bedecken sie 13,53% des 37,34 km² grossen Untersuchungsgebietes. Strenggenommen handelt es sich dabei nicht um Störungen im Waldgebiet.

In dem 13,39 km² umfassenden Gebiet, in welchem auf Luftbildern im Massstab 1:10'000 kleinflächige Störungen untersucht wurden, nahmen waldfähige Standorte 12,0 km² ein. Da dieses Gebiet innerhalb des Testgebietes für grossflächige Störungen lag, konnten kleinflächige mit grossflächigen Störungen verglichen werden. Von den waldfähigen 12 km² waren 8,07% gestört, 2,38% waren von kleinflächigen Störungen und 5,69% von grossflächigen Störungen betroffen.

Von den 5,69% grossflächigen Störungen entfielen 2,97% auf subalpine Weiden, 2,09% auf Lawinenzüge unterschiedlichen Alters und 0,63% auf Brandflächen.

Die 2,38% der waldfähigen Standorte einnehmenden kleinflächigen Störungen bestanden primär aus undefinierbaren Lücken (1,36%), Störungen, die mit Windwurf bzw. Schneedruck gleichgesetzt wurden (0,88%), mutmasslich durch Alter entstandene Lücken (0,09%) und Lücken, die als Krankheit durch Hallimasch interpretiert wurden (0,05%).

Die von den kleinflächigen Störungen stark vertretenen Klassen mit undefinierbaren Störungen (1,36% der waldfähigen Fläche) sind über das gesamte Testgebiet verteilt. Möglicherweise handelt es sich dabei um eine durch Kombination von Windwurf bzw. Schneedruck, Krankheit und Alter ausgelöste mosaikartige Bestandessukzession. Dies scheint auch zu erklären, weshalb der Flächenanteil dieser Störung im Vergleich zu den anderen kleinflächigen Störungen relativ hoch ist und diese Störun-

gen überall im untersuchten Gebiet anzutreffen sind. Ob diese Interpretation richtig ist, lässt sich nur mit einer Überprüfung im Gelände abklären.

Windwurf und Schneedruck als abiotische Störungen waren immer noch relativ häufig vertreten. Sie beanspruchten 0,88% der waldfähigen Fläche im 13,39 km² grossen Testgebiet. Kurth et al. (1960) nennt Schneedruck auch als eine Schädigung mit erheblichem Ausmass in den Beständen des Nationalparks. Er beschreibt sie gar als dauernder und erheblicher als die Lawinenzüge, die im Allgemeinen vorgezeichneten Bahnen folgen und nur in ausserordentlich schneereichen Wintern Teile der Bestände zerstören. Ein in Krüsi und Moser (2000) untersuchter Bergföhrenbestand bei La Schera wurde 1996 von einem Schneedruckereignis betroffen. Der Bestand wurde bei diesem Ereignis allerdings nicht massiv verändert, die umgedrückten Bäume entsprachen einem natürlichen Abgang während ca. 5 Jahren (Krüsi und Moser 2000). Dies bestätigt die in meiner Untersuchung erzielten Ergebnisse, bei denen als Schneedruck bzw. Windwurf interpretierte Störungen im Vergleich zu den anderen kleinflächigen Störungen zwar relativ häufig vorkamen, aber für die Bestandesentwicklung offenbar keinen schwerwiegenden Eingriff darstellten.

Störungen der Klasse d, die vermutlich rein altersbedingt sind, beanspruchten nur 0,09% der waldfähigen Fläche im 13,39 km² grossen Testgebiet, und zwar hauptsächlich im Val dal Botsch und bei Stabelchod. In diesen Gebieten scheint der Bestand allgemein lückiger und älter zu sein als in anderen Bereichen des Testgebietes. Die ausgedehnten Holzschläge des 18. und 19. Jahrhunderts liessen vielerorts gleichaltrige und gleichförmige Bestände entstehen, die nun gesamthaft in einem bestimmten Stadium der Alterung stehen (Kurth et al. 1960). Ein gleichmässiges altersbedingtes Absterben der Bäume auf einer kleineren Fläche scheint dabei durchaus wahrscheinlich.

Die als Hallimasch-Löcher interpretierte Störungsklasse a, mit nur 0,05% der waldfähigen Standorte, kann durch parasitische Pilze verursacht sein, wobei keine im Luftbild erkennbaren Merkmale explizit auf Hallimasch hindeuten. Es wäre auch möglich, dass diese Klasse altersbedingte Lücken repräsentiert, mit Beginn des Bestandeszerfalls im Zentrum und Ausdehnung gegen den Rand. Schon bei Kurth et al. (1960) wird allerdings angenommen, dass die Bestände im Nationalpark durch Pilzbefall (Hallimasch, Rotfäule etc.) eine verminderte Widerstandskraft besitzen, so dass die Bäume auch anfälliger sind auf Schneedruck. Auch Gäumann und Campell (1933) beschrieben das Vorkommen von Hallimasch-Pilzen im Nationalpark. Die Möglichkeit von Hallimasch-Befall an Beständen im Nationalpark wird als real betrachtet. Auch auf der Vegetationskarte von Campell und Trepp (1968) wurden Angaben zu starkem Hallimasch-Befall gemacht. In den Gebieten, welche heute Störungen der Klasse a aufweisen, waren bei Campell und Trepp (1968) hingegen keine diesbezüglichen Angaben vorhanden. Hallimasch-Befall wird häufig bei schon geschwächten oder gestressten Wirtsbäumen festgestellt (Nierhaus-Wunderwald 1994, Schmidt 1994). Der Pilz breitet sich meist über Rhizomorphen aus und infiziert andere Bäume im Wurzelbereich (Nierhaus-Wunderwald 1994). Aus diesem Grund kann eine Ausbreitung des Pilzes in Klasse a vom Zentrum her möglich sein. Nur durch Hallimasch ausgelöste Störungen ohne vorherige Schwächung des Bestandes erscheinen hingegen eher unwahrscheinlich. Ob in dieser Störungsklasse tatsächlich Spuren parasitischer Pilze wie Hallimasch entdeckt werden, bedarf noch genauer Überprüfung im Feld.

Klasse h ist offenbar aufgrund besonderer Standortverhältnisse nicht waldfähig. Der Grund dafür ist allerdings unklar. Diese Störungsklasse wurde nur in einem eng begrenzten Gebiet gefunden.

Im 13,38 km² grossen Untersuchungsgebiet nahmen Lawinezüge (2,09%) gut doppelt soviel an Fläche ein wie Windwurf und Schneedruck (0,88%). Die anthropogenen subalpinen Weiden bleiben aber mit 2,97% die bedeutsamsten Störungen im Testgebiet.

Schon im Sommer 1988 wurde der Nationalpark flächendeckend befliegen. Bisher wurden allerdings nur einige wenige Luftbilder unter dem Aviopreten analysiert (SNP 2000), weshalb ein Vergleich mit meiner Kartierung leider nicht möglich ist.

Die in dieser Arbeit delinierte Waldgrenze spiegelt den jetzigen Zustand wider. In der Literatur gehen die Meinungen auseinander, ob die heutige Waldgrenze mit ihrer parkartig aufgelichteten Zone natürlich oder anthropogen ist (Tranquillini 1979). Diese Zone, die sogenannte „Kampfzone“, wird dennoch häufig als Ergebnis lang dauernder menschlicher Eingriffe wie Rodungen und Beweidung angesehen, wodurch die natürliche Waldgrenze zum Teil um mehrere hundert Meter herabgesetzt wurde. Die heutige Kampfzone entstand mit dem Nachlassen der Weidenutzung durch Rückeroberung ehemaliger Waldgebiete. Die natürliche Waldgrenze wäre demnach weitgehend eine scharfe, durch klimatische Bedingungen entstandene Grenzlinie (Ellenberg 1966 und 1996, Holtmeier 1967). Unter Beachtung dieser Umstände muss die Kartierung von Störungen im Nationalpark neu betrachtet werden. Die Störung, die sich durch die Herabsetzung der Waldgrenze ergeben hat, ist flächenmässig wahrscheinlich viel wichtiger als alle anderen gross- und kleinflächigen Störungen. Wie gross die anthropogene Herabsetzung der Waldgrenze war, konnte mit der erfolgten Kartierung der Luftbilder nicht untersucht werden. Bei einer geschätzten Länge der Waldgrenze von 30 km im 37,34 km² grossen Untersuchungsgebiet und einer angenommenen Herabsetzung der Waldgrenze um durchschnittlich 100 m ergibt sich bereits eine Fläche von 3 km², was ca. 9% der waldfähigen Flächen im Testgebiet entspricht. Die Störung durch die Herabsetzung der Waldgrenze wäre damit die flächenmässig wichtigste Störung im Untersuchungsgebiet.

Kurth et al. (1960) berichten, dass 1957 in den Hochwäldern des Nationalparks im Mittel 43% der über 1,3 m hohen Bäume Schäden aufwiesen. Im Vergleich zur vorliegenden luftbildgestützten Untersuchung ist dieser Wert sehr hoch. Der Unterschied lässt sich damit erklären, dass bei Kurth et al. (1960) Einzelbäume betrachtet wurden, in meiner luftbildgestützten Untersuchung hingegen wurden nur über grössere Flächen sichtbare Schäden kartiert.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die flächenmässig wichtigste Störung im Gebirgswald des Nationalparks vor allem die anthropogenen subalpinen Weiden und die ebenfalls anthropogene Herabsetzung der Waldgrenze sind. Natürliche Störungen wie Lawinen und Windwurf, bzw. Schneedruck sind ebenfalls beachtenswert, betreffen jedoch nur wenige Prozent der waldfähigen Fläche. Insgesamt spielen die Störungen im Vergleich zum gesamten Waldgebiet nur eine kleine Rolle. Für eine genaue Abklärung der Art der Störungen ist eine Verifikation im Feld notwendig.

6 Literaturverzeichnis

- BRASSEL P., BRÄNDLI U.B., 1999: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL. Haupt, Bern.
- BRAUN-BLANQUET J., PALLMANN H., BACH R., 1954: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark und seinen Nachbargebieten. II. Vegetation und Böden der Wald- und Zwergstrauchgesellschaften (*Vaccinio-Piceetalia*). Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark 28, 1-200.
- CAMPELL E., TREPP W., 1968: Vegetationskarte des Schweizerischen Nationalparks. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark 11, 1-58.
- ELLENBERG H., 1966: Leben und Kampf an den Baumgrenzen der Erde. Naturwissenschaftliche Rundschau 19, 4: 133-139.
- ELLENBERG H., 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. 5. Auflage. Ulmer, Stuttgart.
- GÄUMANN E., CAMPELL E., 1933: Über eine Kiefernkrankheit im Gebiet des Ofenbergs. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 83, 329-332.
- GEISSLER P., HARTMANN J., 2000: Vegetationsdynamik in einem 1951 abgebrannten Bergföhrenbestand. In: Schütz M., Krüsi B.O., Edwards P.J. (Hrsg.): Sukzessionsforschung im Schweizerischen Nationalpark. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 89, 107-130.
- HILDEBRANDT G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann, Heidelberg.
- HOLTMEIER F. K., 1967: Die Waldgrenze im Oberengadin in ihrer physiognomischen und ökologischen Differenzierung. Inaugural-Dissertation der Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- HOWARD J.A., 1991: Remote sensing of forest resources. Theory and application. Chapman & Hall, London.
- IMHOF E., 1900: Die Waldgrenze in der Schweiz. Inaugural-Dissertation Universität Bern.
- KIENAST F., FRITSCHI J., BISSEGER M., ABDERHALDEN W., 1999: Modelling successional patterns of high-elevation forests under changing herbivore pressure - responses at the landscape level. Forest Ecology and Management 120, 35-46.
- KRÜSI B.O., SCHÜTZ M., BIGLER C., GRÄMIGER H., ACHERMANN G., 1998: Huftiere und Vegetation im Schweizerischen Nationalpark von 1917-1997. Teil 1: Zum Einfluss der Huftiere auf die botanische Vielfalt der subalpinen Weiden. Teil 2: Zum Einfluss der Huftiere auf das Wild-Freilandverhältnis. In: Cornelius R., Hofmann R. (Hrsg.): Extensive Haltung robuster Haustierrassen, Wildtiermanagement, Multi-Species-Projekte. Neue Wege in der Landschaftspflege. Institut für Zoo- und Wildtierforschung. Berlin, 62-74.
- KRÜSI B.O., MOSER M., 2000: Der Einfluss von Schnee und Huftieren auf den Sukzessionsverlauf in einem Bergföhrenwald im Schweizerischen Nationalpark (Munt la Schera). In: Schütz M., Krüsi B.O., Edwards P.J. (Hrsg.): Sukzessionsforschung im Schweizerischen Nationalpark. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 89, 131-164.

- KURTH A., WEIDMANN A., THOMMEN F., 1960: Beitrag zur Kenntnis der Waldverhältnisse im Schweizerischen Nationalpark. Mitteilungen Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen. 36, 221–378.
- LEIBUNDGUT H., SCHLEGEL J., 1985: Waldbauliche Untersuchungen in Bergföhrenbeständen des Schweizerischen Nationalparks. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 136, 945–955.
- MATTES H., 1990: Die Lebensgemeinschaft von Tannenhäher und Arve. 2. Auflage. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 241, 1–74.
- MAYER H., 1992: Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. 4. Auflage. Fischer, Stuttgart.
- NIERHAUS-WUNDERWALD D., 1994: Die Hallimasch-Arten. In: Merkblatt für die Praxis 21. Sonderdruck aus Wald und Holz 75, 7: 8–14.
- OESTER B., 1991: Erfassen der Waldschaden-Entwicklung anhand von grossmassstäblichen Infrarot-Farbluftbildern. Remote sensing series 19.
- OTT E., FREHNER M., FREY H.-U., LÜSCHER P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern.
- PAROLINI J.D., 1995: Zur Geschichte der Waldnutzung im Gebiet des heutigen Nationalparks. Dissertation ETH Zürich.
- PORRET B., 2001: Räumliche und zeitliche Vegetationsmodellierung auf subalpinen Weiden im Schweizerischen Nationalpark. Diplomarbeit Geographisches Institut Universität Zürich.
- RAGETH M., 1986: Was ist ein Infrarot-Luftbild? Bündner Wald 39, 6: 8–11.
- RIKLI M. 1909: Die Arve in der Schweiz. Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 44, 1–455.
- SCHMIDT O., 1994: Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Springer, Berlin/Heidelberg.
- SNP, 2000: Luftbild-Pilotprojekt 2000 Schweizerischer Nationalpark. Teilprojekt A Luftbild SNP 2000. Interner Ergebnisbericht.
- TRANQUILLINI W., 1979: Physiological ecology of the alpine timberline. Tree existence at high altitudes with special reference to the european alps. Springer, Berlin/Heidelberg.
- ZOLLER H., 1995: Vegetationskarte des Schweizerischen Nationalparks. Erläuterungen. Nationalpark-Forschung in der Schweiz 85, 1–108.

Anhang

Anhang 1: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Weiden.

Anhang 2: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von See, Fliessgewässern und Strasse.

Anhang 3: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Rutschungen, Lawinen, Brandflächen und Bachschuttkegeln.

Anhang 4: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von Felsstandorten.

Anhang 5: Orthobild der 1:30'000-Luftbilder mit Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und allen grossflächigen Störungen.

Anhang 6: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung aller grossflächigen Störungen und der Nationalparkgrenze.

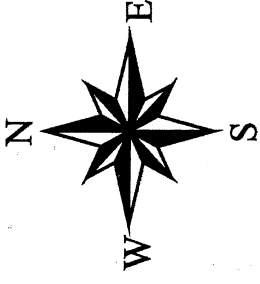
Anhang 7: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von kleinflächigen Störungen, in Klassen aufgeteilt.

Anhang 8: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt.

Anhang 9: Orthobild der 1:10'000-Luftbilder mit Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes und kleinflächigen Störungen, in zusammengefasste Klassen aufgeteilt.

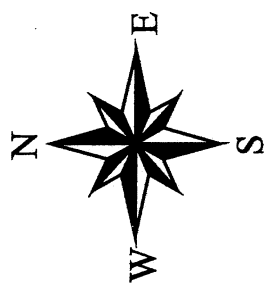
Anhang 10: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung aller kleinflächigen Störungen und der Nationalparkgrenze.

Anhang 11: Karte des Untersuchungsgegenstandes mit Abgrenzung von gross- und kleinflächigen Störungen.



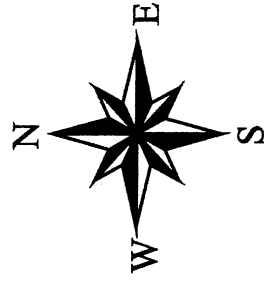
 Weide
 ungestörter Wald

4000 0 4000 8000 Meters



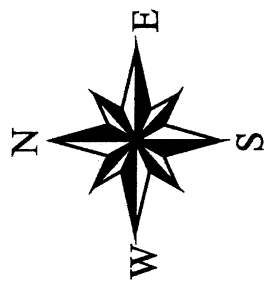
- Strasse
- Fließgewässer
- See
- ungestörter Wald



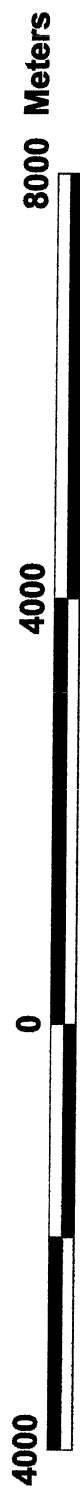
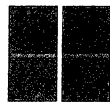


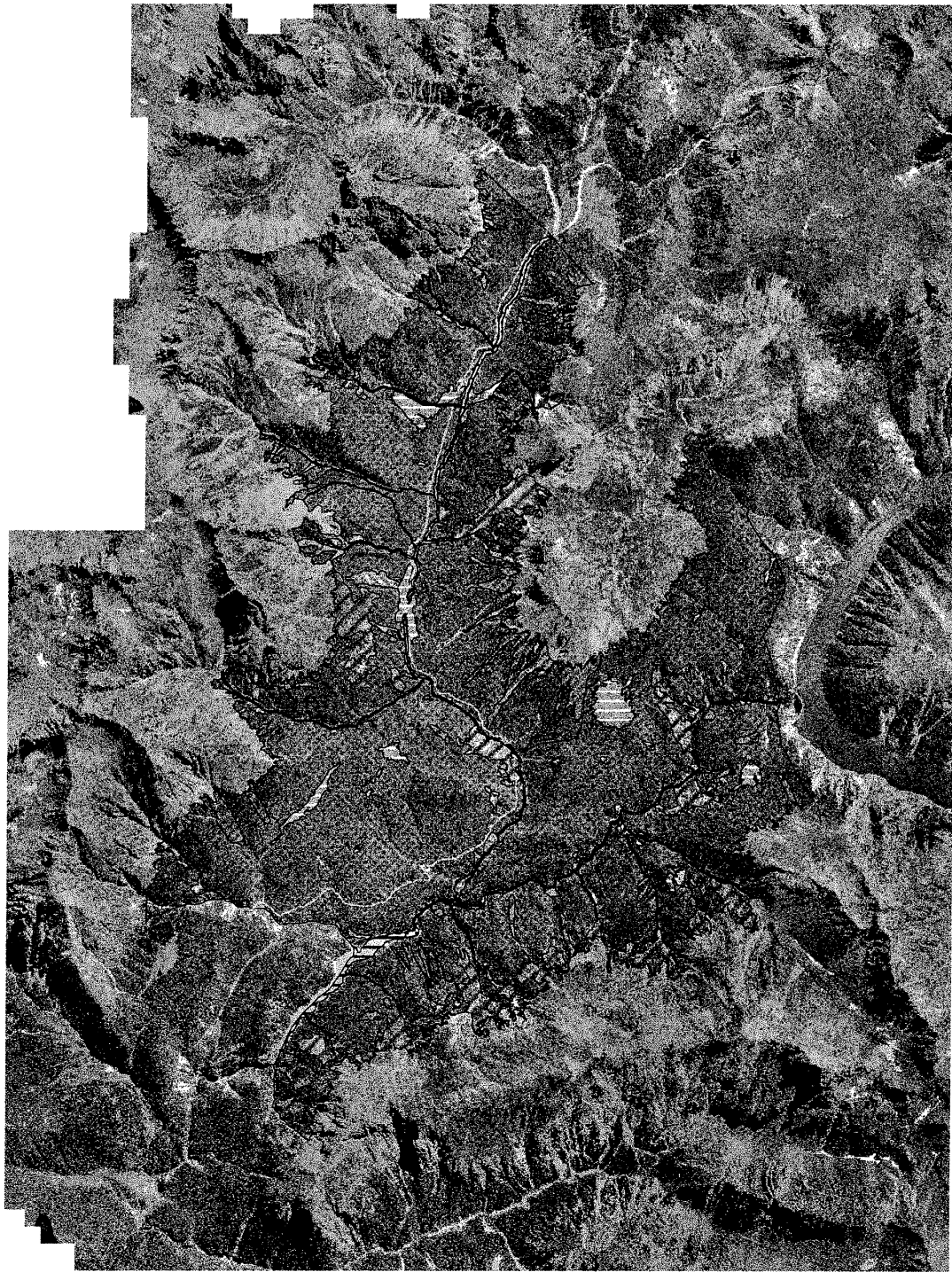
- Rutschung
- Lawine jung
- Lawine mittelalt
- Lawine alt
- Brandfläche
- Bachschuttkegel
- ungestörter Wald

4000 0 4000 8000 Meters

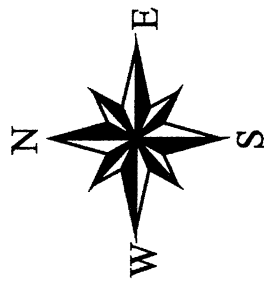


Felsstandorte
ungestörter Wald

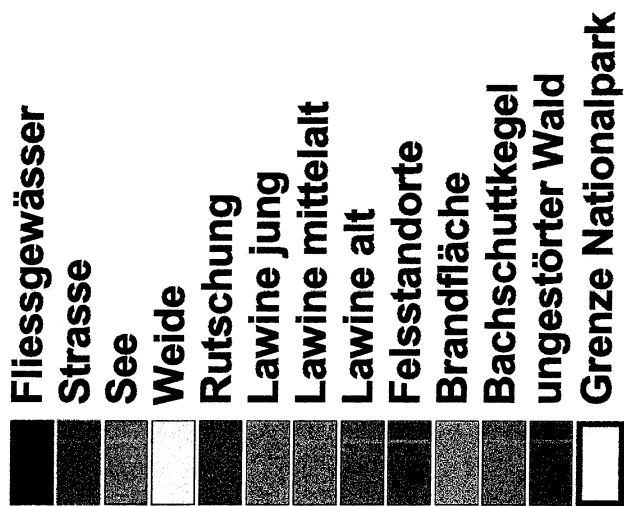
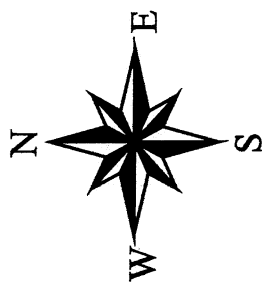
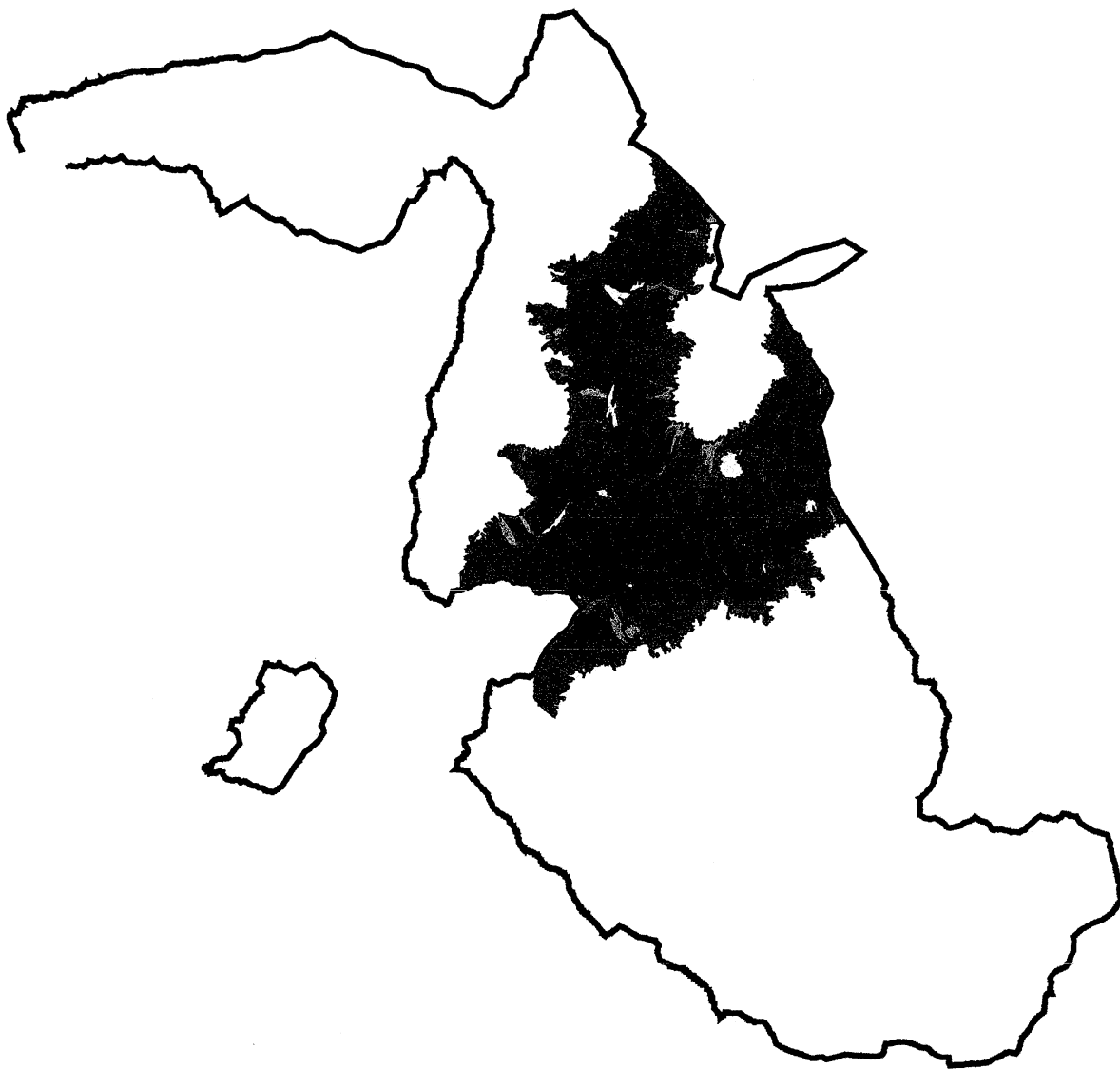


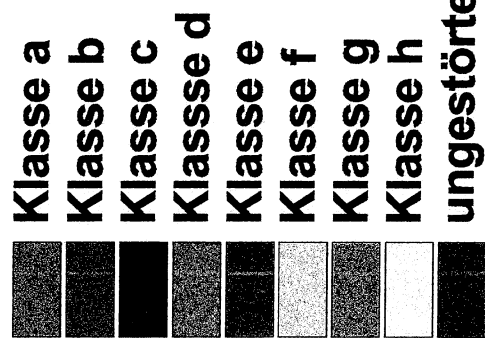
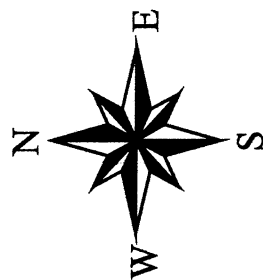


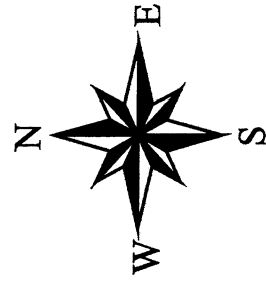
3000 0 3000 6000 Meters



- | | |
|---|--------------------------|
|  | See |
|  | Fließgewässer |
|  | Strasse |
|  | Bachschuttkegel |
|  | Rutschung |
|  | Lawine jung |
|  | Lawine mitteltalt |
|  | Lawine alt |
|  | Felsstandorte |
|  | Brandfläche |
|  | Weide |
|  | ungestörter Wald |





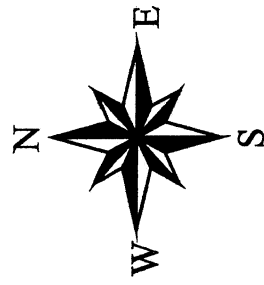


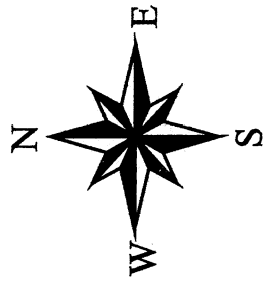
-  Klasse a: Hallimasch
-  Klasse b, c, g: Windwurf/Schneedruck
-  Klasse d: Alter
-  Klasse e, f: undefinierbare Störung
-  Klasse h: besondere Bodensituation
-  ungestörter Wald





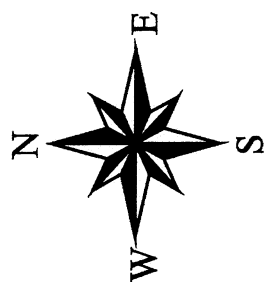
-  Klasse a: Hallimasch
-  Klasse b, c, g: Windwurf/Schneedruck
-  Klasse d: Alter
-  Klasse e, f: undefinierbare Störung
-  Klasse h: besondere Bodensituation
-  Untersuchungsgegenstand





- Alle Lücken
- ungestörter Wald
- Grenze Nationalpark





- Alle kleinflächigen Lücken
- Bachschnittkegel
- Brandfläche
- Lawine jung
- Lawine mittelalt
- Rutschungen
- Weide
- Fliessgewässer
- Strasse
- Felsstandorte
- ungestörter Wald



