

# Variabilität von Verjüngungsmerkmalen im Kontrollzaunprojekt des Kantons Graubünden

Diplomarbeit am D-UWIS, Studiengang Forstwissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

ausgeführt an der

Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL  
Birmensdorf



Vorgelegt von Andrea Guler

Referent: Prof. Dr. H. Bugmann  
Assistenzprofessur Gebirgswaldökologie

Korreferent: Dr. Werner Suter  
Forschungseinheit Wildtierökologie

Klosters, März 2004

# Variabilität von Verjüngungsmerkmalen im Kontrollzaunprojekt des Kantons Graubünden

Autor:

Andrea Guler  
Murastrasse 5  
7250 Klosters

Email: [aguler@gmx.net](mailto:aguler@gmx.net)

Referent:

Prof. Dr. Harald Bugmann  
Departement Umweltwissenschaften, Gebirgswaldökologie  
Eidgenössische Technische Hochschule  
Rämistrasse 101  
CH- 8092 Zürich

Email: [harald.bugmann@env.ethz.ch](mailto:harald.bugmann@env.ethz.ch)

Korreferent:

Dr. Werner Suter  
Programmleiter „Wald-Wild-Kulturlandschaft“  
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL  
Zürcherstrasse 111  
8903 Birmensdorf

Email: [werner.suter@wsl.ch](mailto:werner.suter@wsl.ch)

Copyright © 2004 Amt für Wald Graubünden

Titelbild:

Kontrollzaun 1901; Ginawald, Klosters, Foto: A. Guler, Aufnahmedatum 23.11.2003

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>2</b>
1.1 Schwierigkeiten der Waldverjüngung im Gebirge.....	2
1.2 Wildverbiss und seine Folgen für die Waldentwicklung.....	2
1.3 Kontrollzäune.....	4
1.4 Bedeutung.....	5
1.5 Fragestellung und Hypothesen.....	6
1.5.1 Fragestellung.....	6
1.5.2 Hypothesen.....	6
<b>2 Methodik</b> .....	<b>8</b>
2.1 Kontrollzaunprojekt des Kantons Graubünden.....	8
2.1.1 Projektziele.....	8
2.1.2 Prinzip des Vergleichsflächenverfahrens.....	8
2.1.3 Auswahl und Anlage der Untersuchungsflächen.....	8
2.1.4 Erhebung der Daten.....	9
2.2 Untersuchungsgebiete.....	9
2.2.1 Geografische Lage.....	9
2.2.2 Klima.....	10
2.2.3 Waldzustand in den Regionen.....	10
2.2.4 Wildsituation im Kanton Graubünden.....	11
2.3 Datengrundlage.....	13
2.3.1 Vorhandene und zu untersuchende Daten.....	13
2.4 Auswertekonzept.....	14
2.4.1 Sicherstellung eines vergleichbaren Ausgangszustandes für alle Vergleichsflächenpaare.....	15
2.5 Methode der „korrigierten Differenz“.....	15
2.6 Statistische Datenauswertung.....	16
2.6.1 Einfluss der Standortfaktoren auf die Verjüngungsmerkmale.....	16
2.6.2 Variabilität der Verjüngungsmerkmale.....	17
2.6.3 Einfluss des Wildes auf die Verjüngungsmerkmale.....	19
<b>3 Resultate</b> .....	<b>21</b>
3.1 Standortfaktoren.....	21
3.2 Einfluss der Standortfaktoren auf die Verjüngungsparameter.....	22
3.2.1 Stammzahl.....	22
3.2.2 Baumartenzusammensetzung.....	23
3.2.3 Einzelbaumwachstum.....	24

3.3 Analyse und Vergleich der Verjüngungsmerkmale auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche .....	27
3.3.1 Zustand und Entwicklung der Stammzahl .....	27
3.3.2 Zustand und Entwicklung der Baumartenzusammensetzung .....	33
3.3.3 Zustand und Entwicklung des Einzelbaumwachstums .....	41
3.3.4 Analyse der in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigten Vergleichsflächenpaare .....	43
3.4 Einfluss des Wildes auf die Verjüngungsmerkmale .....	44
3.4.1 Vorkommen von wilden Huftieren in den Regionen .....	44
3.4.2 Verbissintensität .....	45
3.4.3 Einfluss des Wildes auf die Stammzahl und die Baumartenzusammensetzung .....	46
3.4.4 Einfluss des Wildes auf das Einzelbaumwachstum .....	46
<b>4 Diskussion .....</b>	<b>47</b>
4.1 Bedeutung der Standortfaktoren für die Verjüngungsmerkmale .....	47
4.2 Bedeutung der Variabilität der Verjüngungsmerkmale .....	49
4.2.1 Stammzahl .....	49
4.2.2 Baumartenzusammensetzung .....	51
4.2.3 Einzelbaumwachstum .....	53
4.3 Einfluss des Wildes auf die Verjüngungsmerkmale .....	55
4.4 Schlussfolgerungen .....	57
4.5 Ausblick .....	58
<b>Dank .....</b>	<b>59</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
Anhang A: Tabellarische Übersicht der vorhandenen Daten .....	64
Anhang B: In Auswertung eingegangene Kontrollflächen .....	70

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Kanton Graubünden mit Untersuchungsgebieten. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA045994).
- Abb. 2: Auswertekonzept.
- Abb. 3: Standortfaktoren Höhenstufe, Exposition und Licht auf den Kontrollflächenpaaren im Prättigau.
- Abb. 4: Standortfaktoren Höhenstufe, Exposition und Licht auf den Kontrollflächenpaaren in der Surselva.
- Abb. 5: Standortfaktoren Höhenstufe, Exposition und Licht auf den Kontrollflächenpaaren im Engadin.
- Abb. 6 : Vergleich von Stammzahlen auf der Zaun- und Vergleichsfläche nach Waldregionen (Ausgangszustand).
- Abb. 7: Entwicklung der Mediane der Stammzahldifferenzen auf der Zaun- und der Vergleichsfläche im Prättigau (links) und in der Surselva (rechts).
- Abb. 8: Entwicklung der Stammzahldifferenzen auf der Zaun- und der Vergleichsfläche im Unterengadin (links) und im Nationalpark (rechts).
- Abb. 9: Vergleich von Stammzahlen auf der Zaun- und Vergleichsfläche nach Waldregionen.
- Abb.10: Häufigkeiten der Stammzahldifferenzen im Prättigau (links), in der Surselva (mitte) und im Engadin (rechts).
- Abb. 11: Zustand und Entwicklung der Anzahl Baumarten auf der Zaun- und Vergleichsfläche im Prättigau: alle Arten(oben), Nadelbäume (links) und Laubbäume(rechts).
- Abb. 12: Mittlere Baumartenanteile im Prättigau auf der Zaun- (links) und der Vergleichsfläche (rechts), gemessen an der Stammzahl.
- Abb. 13: Zustand und Entwicklung der Gesamtanzahl Baumarten (oben) und Entwicklung der Nadelbaumartenzahl (links) und der Laubbaumartenzahl (rechts) in der Region Surselva.
- Abb. 14: Mittlere Baumartenanteile in der Surselva auf der Zaun- (links) und der Vergleichsfläche (rechts), gemessen an der Stammzahl.
- Abb. 15: Zustand und Entwicklung der Gesamtanzahl an Baumarten im Unterengadin (links) und im Nationalpark (rechts).
- Abb. 16: Mittlere Artenzahl bei der Drittaufnahme.
- Abb. 17: Mittleres Vorkommen von Wild auf den Kontrollzaunflächen im Prättigau (links) und in der Surselva (rechts).
- Abb. 18: Mittleres Vorkommen von Wild auf den Kontrollzaunflächen im Unterengadin (links) und im Nationalpark (rechts).
- Abb. 19: Entwicklung der mittleren Verbissintensität der einzelnen Baumarten in den Regionen Prättigau (links), Surselva und Engadin (rechts).

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Baumartenzusammensetzung nach Stammzahlen. Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Spezialauswertung der Erhebung 1993-95. (Ulmer, U., WSL, 1999).
- Tab. 2: In der vorliegenden Arbeit verwendete Variablen.
- Tab. 3: Abhängige und unabhängige Variablen.
- Tab. 4: Variablen für die Auswertung der Variabilität der Stammzahl
- Tab. 5: Variablen für die Auswertung der Variabilität der Baumartenzusammensetzung.
- Tab. 6: Variablen für die Auswertung der Variabilität des Einzelbaumwachstums
- Tab. 7: Signifikanz-Klassen der „Sternchen-Konvention“ (aus: Stahel 2002).
- Tab. 8: Abhängige und unabhängige Variablen
- Tab. 9: Zulässige Verbissintensität nach Eiberle und Nigg (1987) für den Höhenbereich 10cm bis 130cm.
- Tab. 10: Einfluss von Standortfaktoren auf die Stammzahl der Zaunfläche, mit Koeffizient und Signifikanzklassen gemäss Regressionsanalyse; Aufnahme-Nr. 3.
- Tab. 11: Einfluss von Standortfaktoren auf die Anzahl Baumarten der Zaunfläche, mit p-Wert und Signifikanzklassen gemäss Regressionsanalyse; Aufnahme-Nr. 3.
- Tab. 12: Regressionsmodell Einzelbaumwachstum mit Bestimmtheitsmass, Koeffizienten und Signifikanzniveau. Bsp. Fichte im Prättigau auf Vergleichs- und Zaunfläche
- Tab. 13: Regressionsmodelle Einzelbaumwachstum für die häufig vorkommenden Baumarten in den Regionen Prättigau, Surselva und Engadin mit Bestimmtheitsmass und Signifikanzniveau.
- Tab. 14: Stammzahl nach Regionen und Aufnahmeummer, ausgedrückt als Median.
- Tab. 15: Stammzahl bei der Drittaufnahme nach Regionen und Flächentyp (Fläche 25m<sup>2</sup>).
- Tab. 16: p-Werte und Signifikanzklassen gemäss dem Wilcoxon-Test.
- Tab. 17: Entwicklung der mittleren Baumartenanteile nach Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche im Prättigau, sowie Unterschiede der Stammzahl auf den beiden Flächen mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Wilcoxon-Test.
- Tab. 18: Entwicklung der mittleren Baumartenanteile nach Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche in der Surselva, sowie Unterschiede der Stammzahl auf den beiden Flächen mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Wilcoxon-Test für die 3. Aufnahme.
- Tab. 19: Entwicklung der mittleren Baumartenanteile nach Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche im Unterengadin und im Nationalpark, sowie Unterschiede der Stammzahl auf den beiden Flächen mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Wilcoxon-Test.
- Tab. 20: Einzelbaumwachstum verschiedener Baumarten auf der Zaun- und der Vergleichsfläche in der Surselva, mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Kruskal-Wallis-Test.
- Tab. 21: Einzelbaumwachstum verschiedener Baumarten auf der Zaun- und der Vergleichsfläche im Engadin, mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Kruskal-Wallis-Test
- Tab. 22: Wildvorkommen in der Umgebung der Kontrollflächen und Einfluss auf die Baumhöhe von Baumarten, mit Spearman-Koeffizient und Signifikanzklassen nach Korrelationsanalyse.
- Tab. 23: Gefährdungszeiträume in Jahren nach Baumarten und Regionen auf der Zaun- und der Vergleichsfläche.

## Zusammenfassung

Viele abiotische Faktoren prägen die Struktur des Gebirgswaldes entscheidend. Dabei wirken sie direkt auf die Waldverjüngungsmerkmale Stammzahl, Baumartenzusammensetzung und Einzelbaumwachstum ein und haben einen massgebenden Einfluss auf deren Variabilität.

Ein Faktor davon stellt das Wild dar. Die Bestände sämtlicher in der Schweiz freilebenden Paarhufer haben im Verlauf des letzten Jahrhunderts stark zugenommen und folglich auch der Verbiss an Bäumen. Die Kontrollzäune stellen ein Mittel dar, mit welchem der örtliche Verbissdruck und der Einfluss auf die Variabilität der frühen Waldverjüngungsphase aufgezeigt werden kann. In den drei Regionen Prättigau, Surselva und Engadin wurden im Rahmen des Kontrollzaunprojektes des Amtes für Wald Graubünden insgesamt über 120 Vergleichsflächenpaare eingerichtet. Diese sind bis heute in einem fünfjährigen Turnus bis dreimal aufgenommen worden.

Ein Vergleich von Zaun- und Vergleichsfläche in Bezug auf die Verjüngungsmerkmale zeigte unterschiedliche Entwicklungen der frühen Verjüngungsphase. Während die Stammzahl von Nadelbäumen nach rund zehn Jahren auf der gezäunten Fläche grösser war, zeigte sich für die Laubbäume gegensätzliches. Die Gesamtstammzahl hat sich nicht signifikant unterschieden, obwohl rund 70% der Flächenpaare im Zaun mehr Individuen aufwiesen.

Die Artenzahl hat sich auf den beiden Flächen ausgeglichen entwickelt, wobei im Mittel je nach Region etwas mehr, gleich viele oder etwas weniger Arten auf der gezäunten Fläche gezählt werden konnten. Auf der Zaunfläche dominierten die Nadelbaumarten wie Fichte (*Picea abies*) und Tanne (*Abies alba*), ausserhalb ebenfalls die Fichte sowie die Buche (*Fagus sylvatica*) und die Gruppe der übrigen Laubbaumarten.

Am deutlichsten zeigte sich der Unterschied im Einzelbaumwachstum. Bereits im Alter von 15 Jahren wiesen die Individuen der Baumarten Tanne, Föhre (*Pinus sylvestris*), Lärche (*Larix decidua*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) innerhalb des Zaunes ein Vielfaches der Baumhöhen ausserhalb des Zaunes auf.

Der Einfluss des Vorhandenseins von Wild zeigte sich merklich. Eine Unterteilung des Wildvorkommens nach Häufigkeit brachte aber mit Ausnahme der negativen linearen Korrelation mit der Baumhöhe keine signifikanten Resultate.

Neben dem Wildeinfluss konnte eine Einwirkung der Meereshöhe, der Lichtverfügbarkeit und der Exposition auf die Variabilität der Verjüngungsmerkmale nachgewiesen werden. Dabei wirkten sich diese Faktoren in den verschiedenen Regionen in unterschiedlichem Ausmass aus.

Die vorliegende Auswertung hat sich auf die frühe Phase der Waldverjüngung beschränkt. Um die Frage, wie sich die Verjüngung weiterentwickelt beantworten zu können, ist es von grosser Wichtigkeit das Kontrollzaunprojekt weiterzuführen.

**Keywords:** Waldverjüngung, Kontrollzaun, Wild, Standortfaktor, Graubünden

## 1 Einleitung

### 1.1 Schwierigkeiten der Waldverjüngung im Gebirge

Der Schnee, die kurze Vegetationszeit, die tiefen Temperaturen, die konkurrenzierende Bodenvegetation und das Licht prägen die Struktur des Gebirgswaldes entscheidend (Ott et al. 1997). Sämtliche dieser abiotischen Faktoren wirken direkt auf die Waldverjüngungsmerkmale Stammzahl, Baumartenzusammensetzung und Einzelbaumwachstum und haben einen massgebenden Anteil an deren Variabilität.

Aus dem schweizerischen Landesforstinventar (Brassel und Brändli 1999) geht hervor, dass in den Hochlagen der Schweiz der Jungwaldanteil bezüglich Altersklassenaufbau mit 10% nicht nachhaltig ist (Zinggeler et al. 1999). Schätzungen zur Folge sollte der minimale Verjüngungsanteil eines Schutzwaldkomplexes 1/6 bis 1/3 des Flächenanteils aufweisen, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Verjüngung kein örtlich oder zeitlich bestimmtes Ereignis darstellt (Ott et al. 1997). Zudem wird in vielen Teilen der Alpen von Verjüngungsschwierigkeiten berichtet (Zierl 1972; Mayer und Ott 1991)

### 1.2 Wildverbiss und seine Folgen für die Waldentwicklung

Als zusätzlichem Faktor kommt den wilden Huftieren eine grosse Bedeutung zu. Das Wild wird vielerorts für das Fehlen der Verjüngung oder einzelner Baumarten verantwortlich gemacht (Brändli 1995). Zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren in der Schweiz die wilden Huftiere, mit Ausnahme der Gämse (*Rupicapra rupicapra*), ganz oder fast ausgerottet (Breitenmoser 1998). Dies änderte sich mit der Jagdgesetzgebung von 1876, welche die Jung- und Muttertiere unter Schutz stellte. Die Arten Rothirsch (*Cervus elaphus*) und Reh (*Capreolus capreolus*) konnten in der Schweiz wieder Fuss fassen, ausserdem wurde der Steinbock (*Capra ibex*) ausgesetzt. Die Wildbestände erholten sich und weisen heute hohe Bestandeszahlen auf (Zehnder 1999).

Infolgedessen haben auch die Waldschäden durch das Wild zugenommen. Ob ein festgestellter Wildeinfluss als Schaden eingestuft werden kann oder nicht, hängt von einer allfälligen Zielvorstellung, sei es z.B. eine angestrebte Stammzahl oder Baumartenzusammensetzung in der Verjüngung, ab. Ohne die Definition eines konkreten Zieles und einem Vergleich mit dem Ist-Zustand kann grundsätzlich nicht von Schaden gesprochen werden (Gossow und Reimoser 1985; Reimoser 1982).

Bereits im Jahre 1974 wurden die Wildschäden im Schweizer Wald durch die Wildschadenkommission des Schweizer Forstvereins als vordringliches Waldschutzproblem und bereits zehn Jahre später als Hauptproblem im Wald eingestuft (Stadler et al. 1999).

In verschiedenen Studien wurden die Auswirkungen des Verbisses auf die Verjüngungsmerkmale beschrieben. Eine ausführliche Literaturübersicht findet sich bei Gill (1992 a und b).

Untersuchungen zeigen, dass der Einfluss des Wildes grundsätzlich drei qualitativ unterschiedliche Auswirkungen haben kann: Die Variabilität der Verjüngung kann verstärkt, bzw. abgeschwächt werden oder gleich bleiben.

Ott et. al (1997) weisen darauf hin, dass das Vorkommen von Huftieren für den subalpinen Wald Konsequenzen wie Wachstumsverzögerung oder Benachteiligung der Waldverjüngung mit der Konkurrenzvegetation mit sich bringen kann; zusätzlich kann Wildverbiss zu einer Eliminierung von Mischbaumarten wie Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Tanne (*Abies alba*) sowie Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*), und Lärche (*Larix decidua*) in höheren Lagen führen. Mit Vogelbeere kann eine wichtige Vorwaldbaumart verloren gehen. Das Eliminieren einer Baumart infolge Wildverbiss kann auf zwei unterschiedlichen Ursachen beruhen: Einerseits führt wiederholter Wildverbiss zum Absterben der Pflanze. Andererseits hat die Beschädigung zur Folge, dass ein junger Baum in seiner Konkurrenzfähigkeit beeinträchtigt wird und dadurch langfristig möglicherweise verschwindet (Ammer 1996a).

Je nach Ausgangssituation der Vegetation sowie nach Art und Intensität des Verbisses bewirkt das Schalenwild sowohl eine artenreichere als auch eine artenärmere Mischung der Vegetation oder gar eine völlige Verhinderung der Waldverjüngung (Reimoser und Suchant 1992). Es bestehen verschiedene Untersuchungen, welche zeigen, dass sich die Belastung durch das Schalenwild auf die Baumartenzusammensetzung auswirkt. Der Verbiss und die dabei auftretende Selektion einzelner Arten – betroffen sind insbesondere die Laubbaumarten und die Tanne, weniger die Buche (*Fagus sylvatica*) und die Fichte (*Picea abies*) – üben einen Einfluss auf die Mischung aus (z.B. Ammer 1996a; Roth 1995; Margl und Meister 1977). Die Baumarten reagieren mit unterschiedlicher Anfälligkeit, resp. Mortalität. Dies kann zu einem Mischungsverhältnis zu Gunsten der Fichte führen (Bruschel et al. 1990).

Auch die Stammzahl wird durch die wilden Huftiere beeinflusst. Einerseits wird die Stammzahl der Jungbäume durch das Wild vermindert oder andererseits durch Begünstigung des Standortes erhöht (Reimoser und Suchant 1992). Dies kann durch Zurückdrängen der Vegetationskonkurrenz oder durch Trittstellen geschehen, welche den Mineralboden freistellen und somit günstige Ansamungsmöglichkeiten darstellen (Krüsi 1996). Weitere positive Einflüsse kann das Wild ausüben, indem es die Brombeere abäst, was die Ansamungs- und Aufwuchsbedingungen für die Verjüngung verbessert (Holenstein 1993) – konkrete Daten dazu existieren allerdings nicht.

Das Einzelbaumwachstum wird durch den Wildverbiss beeinflusst. Vom Wild verbissene Bäume der Dickungsstufe erreichen in einer Untersuchung von Bruschel et al. (1990) 25% bis 50% der möglichen Baumhöhe. Inwieweit sich der Höhenwachstumsverlust in der frühen Verjüngungsphase auf die Endhöhe auswirkt, wurde bislang nicht untersucht. Es ist aber anzunehmen, dass eine vergleichbare Höhe erreicht wird.

### 1.3 Kontrollzäune

Die Errichtung von Zäunen mit dem Zweck des Fernhaltens von Schalenwild zum Schutz des Jungwaldes vor Wildverbiss reicht bis weit in die Vergangenheit zurück. Kleinflächige Zäune, welche den örtlichen Verbissdruck aufzeigen, sind hingegen erst seit Mitte des 20. Jh. bekannt (Reimoser und Suchant, 1992). Diese Kontrollzäune dienen als Mittel, um den Einfluss des Schalenwildes zu untersuchen. Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage über den Unterschied von Verjüngungsmerkmalen zu ermöglichen, ist die Anlage von Zaunfläche und Vergleichsfläche nötig; beide Flächen sind so zu wählen, dass die vorherrschenden Standortfaktoren identisch sind.

Wie die folgende Auswahl zeigt, sind bis heute verschiedene Untersuchungen über Kontrollzäune durchgeführt worden. Burschel (1975) vergleicht den Verjüngungszustand auf der Zaunflächen und der Vergleichsflächen in Tannenschwälder Bayerns. Margl und Meister (1977) untersuchten gezäunte und ungezäunte Flächen in Österreich. Auch Perko (1980), Liss (1989) Reimoser (1991), Ammer (1996a+b) und Rüegg (1999) bedienten sich den Kontrollzäunen um den Einfluss des Schalenwildes zu quantifizieren.

Neben den wissenschaftlichen Untersuchungen stellten die Kontrollzäune in der Vergangenheit ein geeignetes Mittel für die Verfälschung tatsächlicher Gegebenheiten dar; so wurden sie eingesetzt um den Jägern einen starken negativen Wildeinfluss auf die Waldverjüngung möglichst anschaulich zu demonstrieren (Reimoser und Suchant 1992). Nicht selten wurde der Effekt durch zusätzliche Einsaat oder Düngung verstärkt; es kam aber auch vor, dass Bäume innerhalb des Zaunes entnommen wurden, um so den wildbedingten Unterschied zu vertuschen (Reimoser und Suchant 1992).

Bei Untersuchungen mittels Kontrollzäunen ist zu berücksichtigen, dass die Erstellung von Zäunen einen Eingriff in ökologische Wechselwirkungen darstellt. Dies führt einerseits zum gewollten Wildausschluss, bedingt aber andererseits Konsequenzen. So bietet die vielerorts beobachtete üppige Vegetation im Zaun Kleinsäugetern und Vögeln Schutz vor ihren Prädatoren. Der Eichelhäher (*Garrulus glandarius*) kann zum Beispiel den sicheren Ort als Versteck für seine Samenvorräte nutzen; zudem können die Mäuse vermehrt die Stammansätze der Verjüngung schälen – Untersuchungen dazu fehlen weitgehend. Durch diesen Zauneffekt mit üppiger Verjüngung wird das Wild vermehrt angelockt, was zu einem stärkeren Verbiss in unmittelbarer Nähe des Zaunes führen kann (Reimoser und Suchant 1992).

Im Vorarlberg (Österreich) kommt dem Kontrollzaunsystem eine grosse Bedeutung in der Jagdplanung zu, welche in Abhängigkeit der Wildschäden am Wald erfolgt. Als Mittel für die Bestimmung der Abschusszahlen schreibt das Vorarlberger Jagdgesetz die Errichtung von Vergleichsflächenpaaren vor (Reimoser 1990).

## 1.4 Bedeutung

Die fehlende Verjüngung und eine allfällige Eliminierung von Mischbaumarten aus den natürlichen Baumartenzusammensetzungen können sich vor allem in Schutzwäldern gravierend auswirken (Mayer und Ott 1991; Ammer, 1990). Eine nachhaltige Erfüllung der Schutzfunktion kann nicht mehr gewährleistet werden, ausserdem fehlen in der Verjüngung einige standortgerechte Baumarten: Insbesondere die Tanne, der Bergahorn und die Esche (*Fraxinus excelsior*) werden grossräumig durch den Verbiss freilebender Paarhufer stark belastet (Prien 1997; Kech 1993; Eiberle und Nigg 1983). Aufgrund der geringen Stammzahl und der hohen Verbissbelastung ist bei der Verjüngung der Tanne mit ernsthaften Problemen zu rechnen (Stadler et al. 1999). In der Schweiz fällt dabei auf, dass sich in den mittleren und nordöstlichen Alpenregionen kaum Verjüngung durchzusetzen vermag, während in den westlichen Gebieten die Tanne in der Verjüngung reichlich vertreten ist (Senn und Suter 2001).

Die Gebirgswaldpflegegruppe stellt einen wildtierbedingten Ausfall der Mischbaumarten, die Eliminierung der Tannenverjüngung und eine Erhöhung der Fichtendominanz fest. In Bayern wird davon ausgegangen, dass die Gebirgswälder künftig aus Fichtenreinbeständen bestehen; als Folge davon wird eine Destabilisierung dieser Wälder vermutet (Burschel et al. 1990). Die Fichte (*Picea abies*) erweist sich mit ihrem flachen Wurzelteller als sturmgefährdet, darüber hinaus ist ein Fichtenreinbestand einem Buchdruckerbefall (*Ips typographus*) stärker ausgesetzt als ein Mischbestand.

Das Wachstum wird durch das Wild stark beeinträchtigt. Durch wiederholten Verbiss ist nur ein geringer Zuwachs möglich, was den Gefährdungszeitraum, in welchem die Individuen dem Verbiss ausgesetzt sind, verlängert. Die Entwicklung verlangsamt sich drastisch und die jungen Bäume – insbesondere die Tanne, sowie die Lichtbaumarten Bergahorn und Esche – sind nicht mehr in der Lage in die Oberschicht einzuwachsen. Die Ursache basiert auf der Konkurrenz durch die wenig verbissempfindlichen Baumarten wie Fichte oder Buche.

Die Bedeutung dieser Entwicklungen wurde erkannt und infolgedessen lancierte das Forstinspektorat Graubünden<sup>1</sup> 1991 das Projekt „Kontrollzäune“. Primär bemüht sich das Projekt um die Untersuchung des Wildeinflusses. Bis heute sind umfangreiche Daten aufgenommen worden. Die vorliegende Diplomarbeit ist in Form einer statistischen Auswertung der erhobenen Daten in dieses Projekt eingegliedert. Mit der Arbeit wird die Variabilität der Verjüngungsmerkmale mit Hilfe von statistischen Methoden untersucht. Die Ziele der Arbeit bestehen darin, die Variabilität der Verjüngungsmerkmale Stammzahl, Baumartenzusammensetzung und Einzelbaumwachstum der frühen Verjüngungsphase mit und ohne Wildeinfluss zu quantifizieren, sowie den Einfluss der Standortfaktoren Höhenstufe, Licht, Exposition und Angebot an Samenbäumen abzuschätzen.

---

<sup>1</sup> Heute: Amt für Wald Graubünden

## **1.5 Fragestellung und Hypothesen**

### **1.5.1 Fragestellung**

Die Fragestellung ist wie folgt aufgebaut: Es wird untersucht, welche Korrelationen zwischen den Standortfaktoren Höhenlage, Licht, Exposition und Anzahl Samenbaumarten auf die Stammzahl, die Artenzahl und auf die Baumhöhe bestehen. Dabei wird sowohl der Einfluss der Einzelfaktoren als auch der Kombination dieser Faktoren auf die Verjüngungsmerkmale ausgewertet.

In einem zweiten Schritt wird die Variabilität der Verjüngungsmerkmale innerhalb der Regionen Prättigau, Surselva und Engadin untersucht und einander gegenübergestellt. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei dem Vergleich von gezäunten und ungezäunten Flächen.

In einem dritten Schritt wird geprüft, welchen Einfluss das Wild auf die Stammzahl, die Baumartenzusammensetzung und das Einzelbaumwachstum ausübt. Dabei steht die Frage im Zentrum, ob ein Zusammenhang zwischen dem Unterschied von Zaun- und Vergleichsfläche, bezüglich den Verjüngungsmerkmalen und dem Wildvorkommen existiert.

Nachfolgend sind die konkreten Fragen aufgelistet:

- 1) Wie stark ist der Einfluss der Standortfaktoren Höhenlage, Licht, Exposition und Samenangebot auf die Variabilität der Verjüngungsmerkmale Stammzahl, Baumartenzusammensetzung und Einzelbaumwachstum?
- 2) Welche Variabilität weisen die Parameter Stammzahl, Baumartenzusammensetzung und Wachstum auf den Vergleichsflächenpaaren des Kontrollzaunprojektes auf?
- 3) Wie stark ist der Einfluss des Schalenwildes auf die Verjüngungsmerkmale?

### **1.5.2 Hypothesen**

Mit der vorliegenden Arbeit werden die folgenden Hypothesen geprüft:

- 1) Der Einfluss der Standortfaktoren Höhenlage, Exposition, Licht und Anzahl Samenbaumarten ist von grosser Bedeutung.
  - a) Mit zunehmender Höhenlage nehmen die Stammzahl und die Artenzahl ab.
  - b) Im Prättigau und in der Surselva stellen die südexponierten Lagen die für Verjüngungsmerkmale günstigeren Standorte dar.
  - c) Die zunehmende Sonnenscheindauer wirkt auf die Verjüngungsmerkmale positiv.
  - d) Bei zunehmender Anzahl Samenbaumarten nimmt auch die Artenzahl in der Verjüngung zu.
- 2) Es wird eine grosse Variabilität der Parameter Stammzahl, Baumartenzusammensetzung und Wachstum erwartet.
  - a) Die Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche unterscheiden sich signifikant. Auf der Zaunfläche kommen mehr Individuen vor.

- b) Die Baumartenzusammensetzung auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche unterscheiden sich signifikant. Es wird erwartet, dass stark verbissgefährdete Arten wie Tanne, Bergahorn, Esche und die Vogelbeere auf den ungezäunten Flächen seltener vorkommen.
  - c) Das Einzelbaumwachstum ist auf der Zaunfläche signifikant höher als auf der Vergleichsfläche – dies zeigt sich ausgeprägt bei den verbissgefährdeten Arten.
- 3) Das Wild beeinflusst die Verjüngung, indem es die Variabilität verstärkt, abschwächt oder gar nicht beeinflusst.
- a) Bei grösserem Wildvorkommen steigt die Differenz zwischen der Stammzahl auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche.
  - b) Die Baumartenzusammensetzung wird durch das Vorkommen von Wild verschieden beeinflusst:
    - i) Bei geringer Wilddichte verschwinden konkurrenzschwache Baumarten (Bergahorn, Esche) auf Kosten von konkurrenzstarken Baumarten (Buche, Fichte)
    - ii) Bei mittlerer Wilddichte wird die grösste Artenzahl erwartet.
    - iii) Bei hoher Wilddichte verschwinden verbissgefährdete Baumarten (Tanne, Vogelbeere, Bergahorn und Esche).
  - c) Bei grossem Wildvorkommen wird das Einzelbaumwachstum stark gebremst, dies gilt insbesondere für verbissempfindliche Baumarten.

## **2 Methodik**

### **2.1 Kontrollzaunprojekt des Kantons Graubünden**

#### **2.1.1 Projektziele**

Mit dem „Projekt Kontrollzäune“ des Kantons Graubünden soll aufgezeigt werden, ob und in welchem Ausmass das Wild für die Beeinträchtigung der Naturverjüngung verantwortlich ist. Die Ziele des Projektes bestehen auf lokaler Ebene darin, den Verbissdruck zu bewerten und die Möglichkeit der frühen Verjüngungsphase am ausgewählten Standort aufzuzeigen; zusätzlich wurde mit den Zäunen ein Demonstrations- und Anschauungsobjekt errichtet (Frehner und Frey 1991).

Auf regionaler Ebene ist die Erfassung der Verbissbelastung von Wäldern, in welchen die Einleitung der Verjüngung notwendig oder erwünscht ist, zum Ziel gesetzt worden. In den letzten dreizehn Jahren, seit Bestehen des Projektes, wurden in den Regionen Surselva, Prättigau und Engadin auf über 120 Vergleichsflächenpaaren mindestens zweimal, zum Teil auch dreimal, Daten zur Lokalität und über die Verjüngungsmerkmale aufgenommen.

#### **2.1.2 Prinzip des Vergleichsflächenverfahrens**

Das Prinzip des Vergleichsflächenverfahrens liegt darin, dass die Entwicklung zweier identischer Flächen, die sich einzig durch den Faktor Wild unterscheiden, verglichen wird (Kreiliger 1993). Somit ist ein direkter Vergleich innerhalb und ausserhalb des Zaunes, d.h. mit und ohne Wildeinfluss möglich (Frehner und Frey 1991). Die Voraussetzung, dass die Standortfaktoren auf beiden Flächen identisch sind, muss eingehalten werden.

#### **2.1.3 Auswahl und Anlage der Untersuchungsflächen**

Die Orte der Vergleichsflächenpaare wurden vom Forstdienst unter Einbezug der Meinung der Wildhut eingerichtet. Dabei wurden Stellen ausgewählt an denen eine Waldverjüngung notwendig oder zumindest erwünscht ist. Es bestand die Voraussetzung, dass der Standort verjüngungsgünstig ist, d.h. es muss bereits Verjüngung vorhanden sein oder zumindest erwartet werden können. Weiter mussten die beiden Vergleichsflächen bezüglich der verjüngungsrelevanten Faktoren identisch oder zumindest vergleichbar sein.

Um statistisch korrekte Aussagen zu ermöglichen, wurden die beiden Vergleichsflächenpaare festgelegt und die zu zäunende Fläche mittels Münzenwurf zufällig bestimmt.

### 2.1.4 Erhebung der Daten

Die Daten wurden in einem Turnus von vier bis sechs Jahren aufgenommen. Über die gesamte Projektdauer waren zwei Equipen für die Datenaufnahme verantwortlich. Zudem wurden sämtliche Daten in der Datenbank „Kontrollzaunprojekt“ (Microsoft Access 2.0) erfasst und verwaltet.

## 2.2 Untersuchungsgebiete

Für das Kontrollzaunprojekt wurden ursprünglich die beiden Regionen Herrschaft-Prättigau, nachfolgend Prättigau genannt, und die Region Surselva/Vorderrheintal, Surselva genannt, ausgewählt. Die Region Engadin wurde im Rahmen des Bundesprojektes UWIWA<sup>2</sup> auf die gleiche Fragestellung hin untersucht und daher ins Kontrollzaunprojekt integriert. In der vorliegenden Auswertung erfolgte für die Beantwortung von Teilfragen für das Engadin eine Unterteilung in die Gebiete Unterengadin und Nationalpark.

### 2.2.1 Geografische Lage

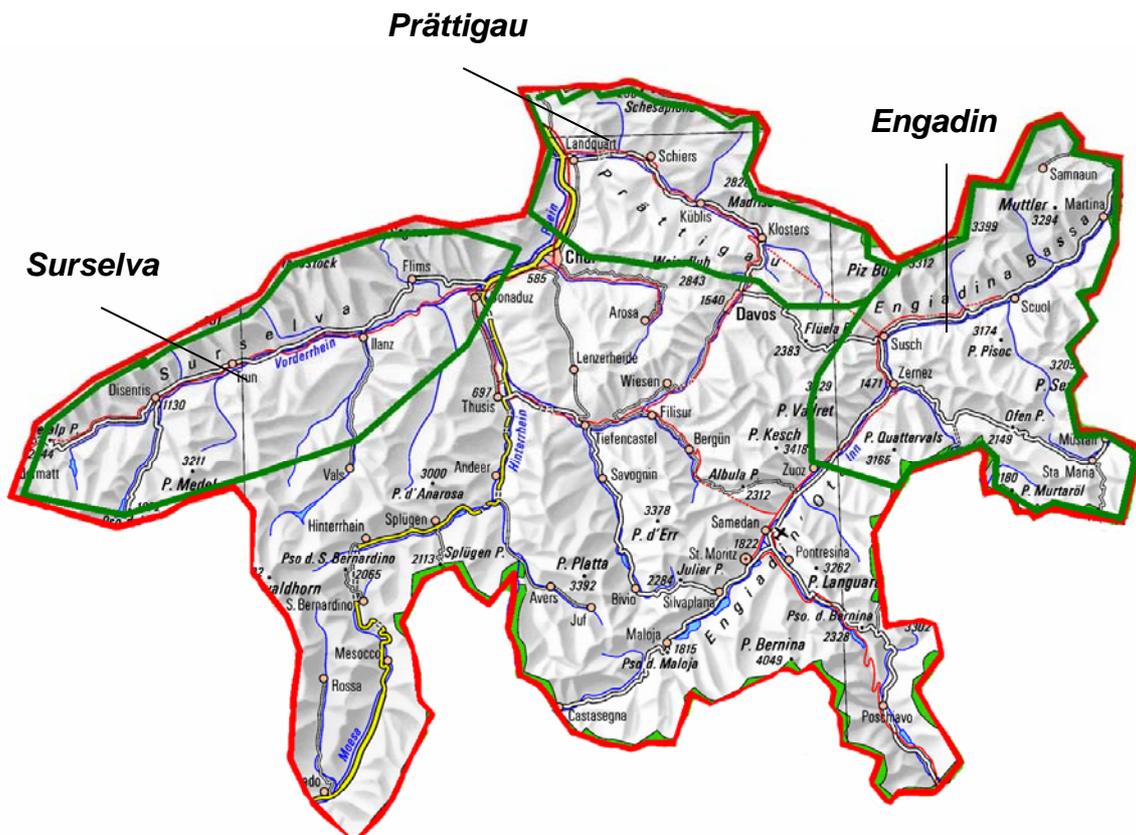


Abb. 1: Kanton Graubünden mit Untersuchungsgebieten. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA045994).

<sup>2</sup> Untersuchungen der Wildschäden am Wald in der Umgebung des Schweizerischen Nationalparks

## 2.2.2 Klima

Das Prättigau und die Surselva gehören nach geografischer Gliederung der Alpen in die Standortregion „nördliche Zwischenalpen“. Der Klimatyp ist ozeanisch bis kontinental geprägt. Die Temperatur schwankt täglich und jahreszeitlich weniger als im Engadin; die Niederschläge belaufen sich auf 1'000 m.ü.M bei ca. 1'200 mm pro Jahr (Ott et al. 1997).

Das Engadin gehört in die Standortregion „Kontinentale Hochalpen“, dementsprechend ist das Klima kontinental. Das Tal ist durch Gebirgszüge gegen den ozeanischen und insubrischen Klimaeinfluss geschützt. Die täglichen und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind sehr hoch. Die Niederschläge sind gering und betragen auf 1'000 m.ü.M ca. 600 - 900mm (Ott et al. 1997).

## 2.2.3 Waldzustand in den Regionen

Im Prättigau kommen die Tannen-Fichtenwälder am häufigsten vor, diese werden nach unten von den Tannen-Buchenwäldern abgelöst. Die Wüchsigkeit der Buche ist reduziert, ihr Vorkommen ist auf den Bereich der Taleingänge beschränkt; vor allem in den tieferen Lagen der Südhänge sind Föhren häufig (Ott et al. 1997). Der Tab.1 sind die Baumartenanteile nach Stammzahl zu entnehmen.

Ein grosser Anteil der Waldungen des Prättigaus sind Wälder mit besonderer Schutzfunktion. Ein Ist-Soll-Vergleich des Forschungsinstitutes für Wildtierkunde in Wien (Ondersheka et al. 1990) betreffend der Waldverjüngung im Prättigau ergab, dass 51% der untersuchten Waldfläche Verjüngung aufweisen sollte. Davon war auf 14% der Fläche die Verjüngung nicht und auf 69% nur unzureichend vorhanden. In 66% dieser Fälle wurde Wildverbiss als entscheidender Faktor beurteilt.

In der Surselva sind die Fichten- bzw. die Tannen-Fichtenwälder am häufigsten. Auch hier beschränkt sich die Buche auf wenige Gebiete im Bereich des Taleinganges (Ott et al., 1997). Demzufolge dominieren in der Surselva die Nadelbäume. Rund ein Drittel der Wälder sind als Wälder mit besonderer Schutzfunktion eingeteilt.<sup>3</sup>

Die Waldverjüngung gestaltet sich infolge des Wildeinflusses in einzelnen Gebieten als schwierig. Dies betrifft im Besonderen das Verbreitungsgebiet der Tanne, der Eibe (*Taxus baccata*) und der Waldföhre (*Pinus sylvestris*). Auswertungen im Rahmen des Wald-Wild-

**Tab. 1: Baumartenzusammensetzung nach Stammzahlen. Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Spezialauswertung der Erhebung 1993-95. (Ulmer, U., WSL, 1999).**

Region	Fichte	Tanne	Lärche	Waldföhre	Arve	Übr. NdBa	Buche	Bergahorn	Esche	Übr. LbBa
Prättigau	61%	8%	5%	4%	0%	1%	12%	1%	1%	6%
Surselva	74%	2%	3%	4%	0%	0%	2%	3%	4%	8%
Engadin	39%	0%	5%	18%	16%	21%	0%	0%	0%	1%

<sup>3</sup> Wald-Wild-Bericht Surselva, Amt für Wald und Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.

Berichtes Surselva (Amt für Wald Graubünden und Amt für Jagd- und Fischerei 2003) ergaben, dass 51% der Probeflächen wildbedingte Verjüngungsprobleme aufweisen. Die Tanne weist in den Verjüngungsklassen 1 bis 4 (10-130cm) einen Stammzahlanteil von 1 bis 2% auf.

Das Engadin ist geprägt durch Lärchen-Fichten-, Lärchen-Arven-, Bergföhren- und Waldföhrenwälder. Nach Lüscher (1990) zeigt die Verjüngungsanalyse ein unerfreuliches Bild. Besonders in tieferen, schneeärmeren Lagen sind die Jungwüchse praktisch vollständig verbissen.

## **2.2.4 Wildsituation im Kanton Graubünden**

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kam in Graubünden von den Huftieren nur die Gämse in nennenswerten Beständen vor. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wanderten auch die Arten Rothirsch und Reh, welche zwischenzeitlich ausgerottet wurden, wieder ein (Jenny und Müller 2002). Der Steinbock wurde im Jahre 1920 wieder ausgesetzt. Durch den gesetzlichen Schutz von Muttertieren und Jungtieren erholten sich die Bestände aller Arten und erreichten gegen Ende der siebziger Jahre die höchsten Dichten. Vom Ende des 20. Jahrhunderts bis heute hat sich der Wildbestand im Kanton Graubünden auf rund 12'600 Rothirsche, 14'000 Rehe, 25'000 Gämsen und 5'500 Steinböcke eingependelt.<sup>4</sup>

Mit der Einführung von Bejagungskonzepten in den Jahren 1987 (Rothirsch), 1990 (Gämse) und 1998 (Reh) werden die Wildbestände basierend auf wildbiologische Grundsätzen reguliert. Es werden gezielt Muttertiere und Jungtiere geschossen. Zudem wird der Druck auf im Wald lebenden Gämsen gefördert.

### **PRÄTTIGAU**

Die Region Prättigau ist Teil eines wildökologischen Grossraumes, welcher neben dem Haupttal die angrenzenden Regionen Vorarlbergs und Liechtensteins umfasst. Viele Hirsche nutzen das Prättigau als Wintereinstandsgebiet und das benachbarte Ausland als Sommerstand.

Onderscheka et al. (1990) bewerteten den Wildbestand in der Studie Rätikon als zu hoch, so wurden durchschnittliche Rotwildichten von bis 26 Stück/100 ha im Winterareal ermittelt. Durch die erheblichen räumlichen und zeitlichen Unterschiede in der Verteilung, können sich lokal noch höhere Wildichten einstellen.

In Auswertungen von Daten des LFI <sup>5</sup> im Hinblick auf den Wildtiereinfluss in den Schweizer Wäldern wurde das Prättigau der höchsten Wildschadensindex-Klasse zugeteilt; die Werte

---

<sup>4</sup> Bestandeszahlen aus dem Jahresbericht 2002 : Jagd; Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.

<sup>5</sup> Erstes Landesforstinventar von 1983 bis 1986

für die Verbissintensität an Fichte lagen mit 10% ebenfalls deutlich über dem gesamtschweizerischen Durchschnitt von 3% (Brändli, 1995).

### **SURSELVA**

Die Surselva wird ebenfalls von allen einheimischen wilden Huftieren als Lebensraum genutzt. Schätzungen zufolge leben rund 2'000 Rothirsche, 5'000 Gämsen und 800 Steinböcke in dieser Region, der Rehbestand lässt sich nicht abschätzen (Amt für Wald Graubünden, Amt für Jagd- Fischerei 2003). Das Vorkommen variiert über den Jahresverlauf. Der Rothirsch wandert auf den Winter hin den Tälern entlang in Richtung Haupttal bzw. dem Vorderrhein entlang talabwärts.

In der Untersuchung von Brändli (1995) betrug der Wildschadensindex fünf und lag somit unwesentlich unter jenem des Prättigaus; die Verbissintensität von Fichte lag bei 6-9%.

### **ENGADIN**

Das Wildvorkommen im Engadin unterliegt saisonalen und räumlichen Schwankungen. Während der Rothirsch den Sommer im Nationalpark verbringt, sucht er im Winter Einstandsgebiete mit besseren Äsungsmöglichkeiten wie das Unterengadin oder das Münstertal auf (Voser, 1987).

Die anwachsende Hirschpopulation im Schweizer Nationalpark und seiner Umgebung während des letzten Jahrhunderts führte zu beträchtlichen Wildschäden in Wäldern (Kurth et al. 1960). Nach Schütz et al. (2003) hält sich der Rothirsch infolge des günstigen Nahrungsangebotes und der geringen Störungen weniger in den Wäldern auf; dafür übt er einen beträchtlichen Einfluss auf die Weiden aus.

Das Engadin wies einen Wildschadensindex von vier bis fünf auf; die Verbissintensität von Fichte erreichte Werte bis 12% (Brändli, 1995).

## 2.3 Datengrundlage

### 2.3.1 Vorhandene und zu untersuchende Daten

Tab. 2: In der vorliegenden Arbeit verwendete Variablen.

Kategorie	Variablen	Total (N)	Prättigau	Surselva	Engadin	Bemerkungen
Lokalität	Waldregion, Gemeinde, Lokalname, Koordinaten, Höhenstufe, Meereshöhe, Exposition	1. Aufn.: 113 2. Aufn.: 90 3. Aufn.: 73	28 28 23	55 55 31	30 7 19	Im Engadin wurde auf 13 Flächen die Zweitaufnahme ausgelassen.
Altbestand	Baumart, Anzahl Samenbaumarten	113	28	55	30	Anzahl Baumarten Für alle Flächenpaare
Aufnahme	Datum, Verjüngungsgunst	303	79	141	56	Für alle Flächenpaare, nach Baumart und Aufnahme-Nr.
Fläche	Lichtgenuss	303	79	141	56	Für alle Flächenpaare, nach Aufnahme-Nr.
Wild	Vorkommen (Kat. 0 (kein Vorkommen) bis 5 (grosses Vorkommen))	0 82 36	0 26 23	0 55 31	0 23 4	Für Lokaltäten, nach Aufnahme-Nr.
Jungwald	Nach Höhenklassen, Anzahl, Verbiss,	2390	852	1520	16	Datensätze mit Anzahl nach Baumart Für alle Flächenpaare, nach Flächentyp, Aufnahme-Nr.
Einzelbaum	Alter, Baumhöhe, Verbiss Leittrieb	6058	2781	3056	221	Einzelbäume, Für alle Flächenpaare, nach Flächentyp, Baumart und Aufnahme-Nr.

Die Grundlage der Daten bildete die Datenbank „Kontrollzaun\_Data\_Master“, welche vom Amt für Wald Graubünden verwaltet wird. Die vorliegende Auswertung verwendete eine Auswahl von Variablen. Eine ausführliche Übersicht sämtlicher aufgenommenen Daten ist dem Anhang A zu entnehmen.

Die Werte für die Verjüngungsmerkmale beziehen sich immer auf die Zaun- resp. die Vergleichsflächen. Beide Flächen weisen eine **Grösse von 25m<sup>2</sup>** auf. In die Auswertungen der Stammzahl und der Baumartenzusammensetzung flossen sämtliche Daten der Bäume ab einer **Höhe von 10cm bis 130cm** ein. Die Daten für die Einzelbäume, welche als Grundlage für die Analyse des Einzelbaumwachstums dienten, beschränkten sich auf die zehn höchsten Individuen je Baumart und Flächentyp.

## 2.4 Auswertekonzept

Als Auswerteeinheiten dienten die Regionen Prättigau, Surselva und Engadin. Mittels Regressionsmodellen wurde zuerst die Abhängigkeit der Standortfaktoren ohne Wildeinfluss auf die Verjüngungsmerkmale beschrieben. Danach wurden die Verjüngungsmerkmale einer deskriptiven Auswertung unterzogen. Anschliessend habe ich den Zustand und die Entwicklung in den drei Regionen ermittelt. In einer zweiten Phase wurden die Zaunflächen den Vergleichsflächen gegenübergestellt und auf signifikante Unterschiede überprüft.

Schliesslich habe ich Daten über das Wild in die Untersuchungen miteinbezogen, indem ich innerhalb der Regionen die jeweiligen Differenzen der Verjüngungsmerkmale zwischen den beiden Flächentypen dem Wildvorkommen und der Verbissintensität gegenübergestellt habe.

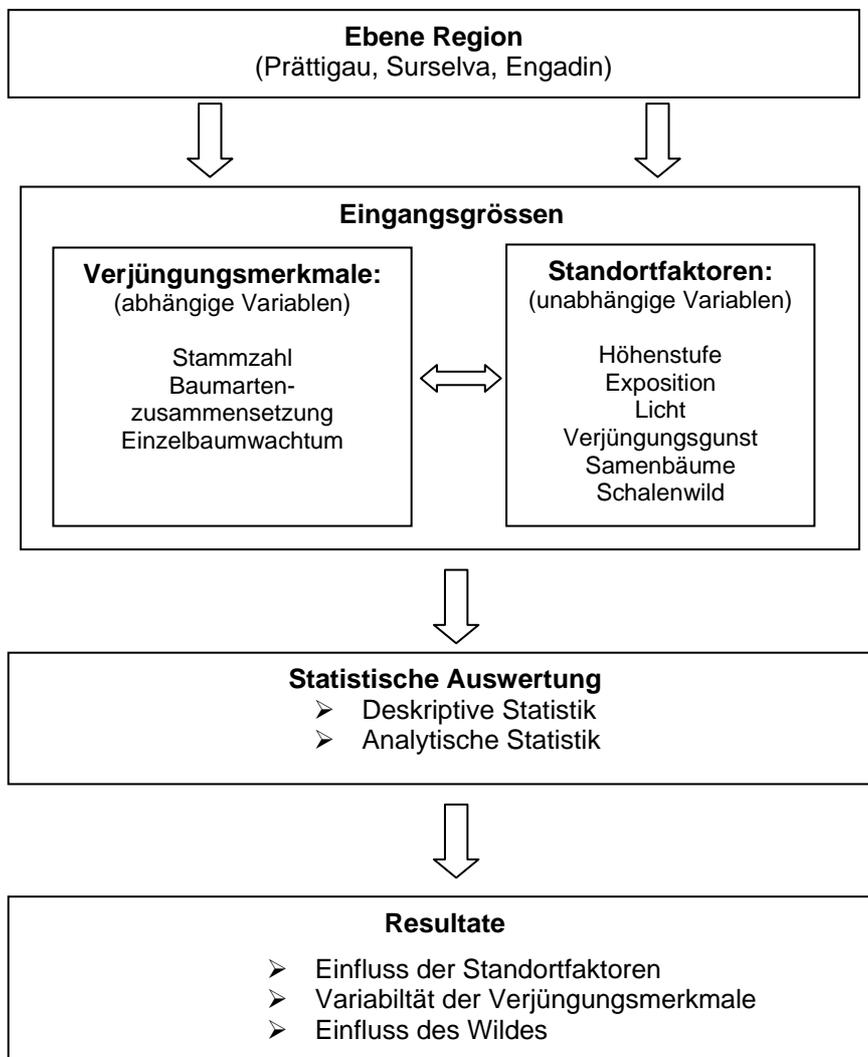


Abb. 2: Auswertekonzept.

### 2.4.1 Sicherstellung eines vergleichbaren Ausgangszustandes für alle Vergleichsflächenpaare

Um statistische Aussagen über Vergleiche innerhalb oder zwischen den zu untersuchenden Regionen zu ermöglichen, wurde von einem vergleichbaren Ausgangszustand betreffend der Verjüngungsmerkmale ausgegangen.

In der vorliegenden Auswertung wurden für die jeweiligen Analysen der Verjüngungsmerkmale Stammzahl und Baumartenzusammensetzung Bedingungen formuliert. Diejenigen Kontrollflächen, welche diese Voraussetzungen nicht erfüllten, wurden separat verglichen und als zusätzliche Informationen in die Interpretation miteinbezogen.

#### BEDINGUNGEN

1. Die Standortsverhältnisse auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche müssen vergleichbar sein.
2. Die Anzahl Arten bei der Drittaufnahme soll nicht null sein. In diesem Fall sind die standörtlichen Voraussetzungen für die Verjüngung zu ungünstig.
3. Die Differenz der Stammzahl auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche darf höchstens 25 betragen.<sup>6</sup>
4. Die Differenz der Anzahl Baumarten auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche darf höchstens zwei betragen.<sup>6</sup>

### 2.5 Methode der „korrigierten Differenz“

Um die Einfluss des Wildes zu untersuchen wurde die Methode der korrigierten Differenz nach Reimoser (1991) angewendet. Dabei wird zuerst überprüft wie sich die Werte auf der Zaunfläche (Z) und der Vergleichsfläche (U) entwickelt haben. Dies erfolgt in einem Vergleich zwischen den drei Aufnahmen (1-2; 1-3):

$$\Delta U_1 = U(2) - U(1); \Delta U_2 = U(3) - U(1)$$

$\Delta U$ = Unterschied von Verjüngungsmerkmalen zwischen den drei Aufnahmen auf der Vergleichsfläche.

$$\Delta Z_1 = Z(2) - Z(1); \Delta Z_2 = Z(3) - Z(1)$$

$\Delta Z$ = Unterschied von Verjüngungsmerkmalen zwischen den drei Aufnahmen auf der Zaunfläche.

---

<sup>6</sup> Zaun- und Vergleichsfläche betragen je 25m<sup>2</sup>, Bäume ab einer Höhe von 10cm bis 130cm.

Danach werden die Entwicklungen auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche einander gegenübergestellt:

$$\Delta ZU_1 = \Delta Z_1 - \Delta U_1$$

$\Delta ZU$  = Unterschied zwischen Zaunfläche und Vergleichsfläche

$$\Delta ZU_2 = \Delta Z_2 - \Delta U_2$$

Dieser Unterschied auf den beiden Flächen lässt sich erst durch diese um den Anfangsunterschied korrigierte Differenz zwischen der gezäunten und der ungezäunten Fläche erkennen. Die Ursache dieser Differenz wird durch den Wildeinfluss erklärt. Dieser Vergleich kann zu drei verschiedenen Resultaten führen.  $\Delta ZU$  kann positiv, null oder negativ sein.

Es wurde nun untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dieser korrigierten Differenz und dem Wildvorkommen respektive der Verbissintensität besteht.

## 2.6 Statistische Datenauswertung

### 2.6.1 Einfluss der Standortfaktoren auf die Verjüngungsmerkmale

#### ABHÄNGIGE UND UNABHÄNGIGE VARIABLEN

Tab. 3: Abhängige und unabhängige Variablen.

	Beschreibung	Bemerkung
<b>Abhängige Variablen</b>		
ln(zsum)	Logarithmierte Stammzahl	
zanzart	Anzahl Baumarten auf der Zaunfläche	
ln(Höhe)	Logarithmierte Baumhöhe	
<b>Unabhängige Variablen</b>		
müM	Meereshöhe der Kontrollflächen	in km
katexp	Exposition in Kategorien	1= NW-NE, 1= W u. E, 3= SE-SW
son6	Sonnenscheindauer im Juni	in Std.
anzsb	Anzahl Samenbaumarten	Nur Mischung
moho	Moderholz	1=kein, 2=wenig, 3=reichlich
robo	Rohboden	

#### STATISTISCHES VORGEHEN

Die Auswertung sämtlicher Daten erfolgte mit dem Softwarepaket „SPSS® Version 11.0“.

Um den Einfluss der Standortfaktoren auf die Verjüngungsmerkmale zu untersuchen wurde die multiple lineare Regression verwendet. Die Variablen wurden schrittweise in das Modell aufgenommen; sämtliche in den Gleichungen berücksichtigten Koeffizienten unterschieden sich signifikant von null. Als abhängige Variablen dienten die Verjüngungsmerkmale und als unabhängige Variablen die Standortfaktoren. Da die Variable Stammzahl stark von der Normalverteilung abwich, wurde sie mit dem natürlichen Logarithmus transformiert. Auch für die Daten des Einzelbaumwachstums ist diese Transformation sinnvoll, da die Baumhöhe in der Verjüngungsphase exponentiell zunimmt.

### Korrelationsanalyse:

Da eine Korrelation zwischen unabhängigen Variablen zu Problemen bei der Interpretation von Ergebnissen der Regressionsanalyse führen kann, wurde sie wenn möglich vermieden (Stahel 2002).

Die Beziehungen zwischen den unabhängigen Variablen wurden mit dem Spearman Korrelationskoeffizienten und dem p-Wert überprüft. In den Fällen, in welchen eine Korrelation bestand, wurden die unabhängigen Variablen einzeln den Abhängigen gegenübergestellt, um den Einfluss zu bestimmen. Dies traf für die Abhängigkeit der Artenzahl von der Gesamtstammzahl sowie von der Anzahl Samenbaumarten zu.

### Überprüfung des Regressionsmodells:

Die Überprüfung des Regressionsmodells basierte auf der Analyse der empirischen Residualwerte, welche ähnliche Eigenschaften aufweisen müssen, wie die erwarteten Residualwerte (Janssen und Latz 1998).

Dieser Sachverhalt wurde mit der Darstellung eines Histogrammes der Residualwerte oder dem Normalverteilungsdiagramm, welches die erwartete Wahrscheinlichkeit der beobachteten Kumulierten gegenüberstellt, überprüft. Genügten diese Diagramme für eine gesicherte Aussage nicht aus, wurden die standardisierten Residuen mittels eines Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Sämtliche in der Arbeit aufgeführten Regressionsgleichungen erfüllten diese Bedingungen.

## 2.6.2 Variabilität der Verjüngungsmerkmale

### VARIABLEN

Um die Variabilität der Verjüngungsmerkmale zu bestimmen, wurden die folgenden Variablen statistisch untersucht:

**Tab. 4: Variablen für die Auswertung der Variabilität der Stammzahl**

Variable	Beschreibung	Bemerkung
zsum	totale Stammzahl auf der Zaunfläche	Fläche: 25m <sup>2</sup> ; Höhe: 10 - 130cm Fläche: 25m <sup>2</sup> ; Höhe: 10 - 130cm
usum	totale Stammzahl auf der Vergleichsfläche	
zstznd	Stammzahl Nadelbaumarten auf der Zaunfläche	
ustznd	Stammzahl Laubbaumarten auf der Zaunfläche	
zstzlb	Stammzahl Nadelbaumarten auf der Vergleichsfläche	
ustzlb	Stammzahl Laubbaumarten auf der Vergleichsfläche	
zstzba	Stammzahl Baumart auf der Zaunfläche	ba : fi (Fichte), ta (Tanne), lä (Lärche), wfö (Waldföhre), bu (Buche), bah (Bergahorn), es (Esche), vob (Vogelbeere)
ustzba	Stammzahl Baumart auf der Vergleichsfläche	

**Tab. 5: Variablen für die Auswertung der Variabilität der Baumartenzusammensetzung.**

Variable	Beschreibung	Bemerkung
zanzart	Gesamtartenzahl auf der Zaunfläche	Fläche: 25m <sup>2</sup> ; Höhe: 10 - 130cm Fläche: 25m <sup>2</sup> ; Höhe: 10 - 130cm
uanzart	Gesamtartenzahl auf der Vergleichsfläche	
zazartn	Artenzahl der Nadelbaumarten auf der Zaunfläche	
uazartn	Artenzahl der Nadelbaumarten auf der Vergleichsfläche	
zazartl	Artenzahl der Laubbaumarten auf der Zaunfläche	
uazartl	Artenzahl der Laubbaumarten auf der Vergleichsfläche	

**Tab. 6: Variablen für die Auswertung der Variabilität des Einzelbaumwachstums**

Variable	Beschreibung	Bemerkung
artkurz	Baumart	
höhe	Baumhöhe	Werte für die zehn höchsten Bäume pro Art und Flächentyp.
alter	Baumalter	

### STATISTISCHES VORGEHEN

Die Variablen Stammzahl, Artenzahl und Baumhöhe wurden nach ihrer Häufigkeitsverteilung untersucht. Dies erfolgte mittels eines Histogrammes oder des Kolomogrov-Smirnov-Tests. Wenn keine Normalverteilung vorliegt, eignen sich Mediane, Quartile und Standardabweichungen für einen Vergleich des Zustandes und die Entwicklung zwischen den drei Regionen.

Da die untersuchten Variablen keine Normalverteilung aufwiesen, wurden nichtparametrische Tests angewendet (Bühl und Zöfel 1998). In der vorliegenden Arbeit wurde für sämtliche Tests eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 5\%$  als Grenzwert festgelegt. Es wurde die Nullhypothese überprüft, welche besagt, dass ein Unterschied zwischen zwei Stichproben rein zufällig ist. Resultiert ein signifikantes Testergebnis, wird diese Nullhypothese verworfen und es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen den zu testenden Stichproben.  $\alpha$  gibt die durch die Konvention festgelegte Wahrscheinlichkeit an, ein Ergebnis im Verwerfungsbereich zu erhalten.

**Tab. 7: Signifikanz-Klassen der „Sternchen-Konvention“ (aus: Stahel 2002).**

Fall	Interpretation	Notation
$P > 0.1$	Nicht signifikant	(n. s.)
$0.1 \geq P > 0.05$	Sehr schwach signifikant	.
$0.05 \geq P > 0.01$	Schwach signifikant	*
$0.01 \geq P > 0.001$	Stark signifikant	**
$0.001 \geq P$	Sehr stark signifikant	***

### Stammzahl und Baumartenzusammensetzung

Um allfällige signifikante Unterschiede zwischen den Regionen betreffend Stammzahl und Artenzahl festzustellen, wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Dieser Test kommt bei mehreren unabhängigen Stichproben zur Anwendung, er basiert auf einer gemeinsamen Rangreihe aller Werte.

Für den Vergleich zweier abhängigen Stichproben, also von Werten der Zaunfläche und der Vergleichsfläche, eignet sich der Wilcoxon-Test. Dieser basiert auf einer Rangreihe der absoluten Wertepaar Differenz.

Für die Berechnung der Baumartenanteile wurden die Ausreisser der Gesamtstammzahl nicht berücksichtigt, da sie die Resultate zu stark beeinflussten.

### Einzelbaumwachstum

Mit dem Kruskal-Wallis-Test wurden die beiden Gruppen Zaun- und Vergleichsfläche auf einen Unterschied getestet. Dabei wurde angenommen, dass sämtliche Bäume unabhängig voneinander sind. Diese Annahme wurde getroffen, da nicht für jeden Baum innerhalb des Zaunes ein Vergleichsbaum ausserhalb des Zaunes gegeben war.

## 2.6.3 Einfluss des Wildes auf die Verjüngungsmerkmale

### ZIEL- UND AUSGANGSVARIABLEN

Tab. 8: Abhängige und unabhängige Variablen

	<b>Beschreibung</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Abhängige Variablen</b>		
kdifsum	Korrigierte Differenz Stammzahl	(Zaunfläche – Vergleichsfläche)
kdifazat	Korrigierte Differenz der Anzahl Baumarten	
difflnhöhe	Differenz der Baumhöhe	
<b>Unabhängige Variablen</b>		
wiwi	Wildvorkommen im Winter	Summe der Vorkommen der einzelnen Wildarten (Min. 0 bis Max 20) (Reh, Hirsch, Gämse, Steinbock 0= kein Vorkommen 1= geringes Vorkommen 3= mittleres Vorkommen 5= grosses Vorkommen)
wiso	Wildvorkommen im Sommer	
witot	Wildvorkommen im Sommer und im Winter	
		wiwi + wiso

**STATISTISCHES VORGEHEN**

Für die Überprüfung des Wildeinflusses wurde mit der Spearman - Korrelation die korrigierten Differenzen der einzelnen Verjüngungsmerkmale den unabhängigen Variablen Wildvorkommen gegenübergestellt.

**VERBISSINTENSITÄT**

Als Verbissintensität wird der Anteil verbissener Endtriebe pro Jahr in Prozenten der Gesamtpflanzenzahl definiert (Eiberle, 1987).

Es wurden die Verbissintensitäten auf den Kontrollzaunflächen den Richtwerten von Eiberle und Nigg (1987) gegenübergestellt. Eiberle und Nigg vermuten bei einer Überschreitung der Richtwerte, dass erste Individuen der entsprechenden Baumart verbissbedingt ausfallen.

Die Anwendung erfolgte im Wissen, dass diese Richtwerte aus einzelnen Fallstudien resultieren.

**Tab. 9: Zulässige Verbissintensität nach Eiberle und Nigg (1987) für den Höhenbereich 10cm bis 130cm.**

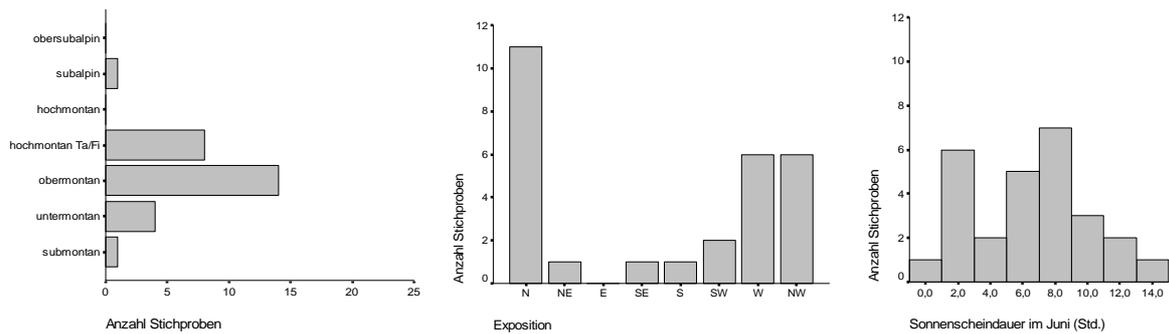
<b>Baumart</b>	<b>Verbissintensität (%)</b>
Tanne	9
Fichte	12
Föhre	12
Lärche	22
Bergahorn	30
Esche	35

### 3 Resultate

#### 3.1 Standortfaktoren

##### PRÄTTIGAU

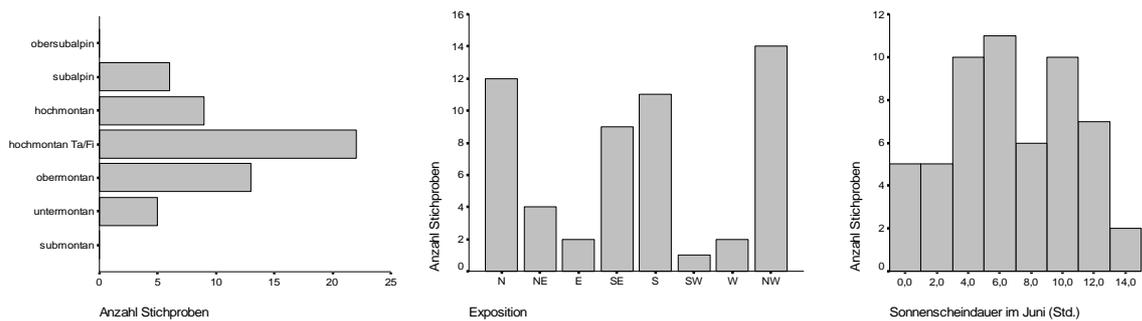
Für das Prättigau wurden 28 Vergleichsflächenpaare ausgewertet. Die Stichproben konzentrierten sich auf die obermontane und hochmontane Höhenstufe und befanden sich auf den Expositionen West bis Ost (Abb. 3) Mit Ausnahme einer Lokalität wiesen sämtliche Flächen mindestens zwei Stunden Junisonne auf.



**Abb. 3: Standortfaktoren Höhenstufe, Exposition und Licht auf den Kontrollflächenpaaren im Prättigau.**

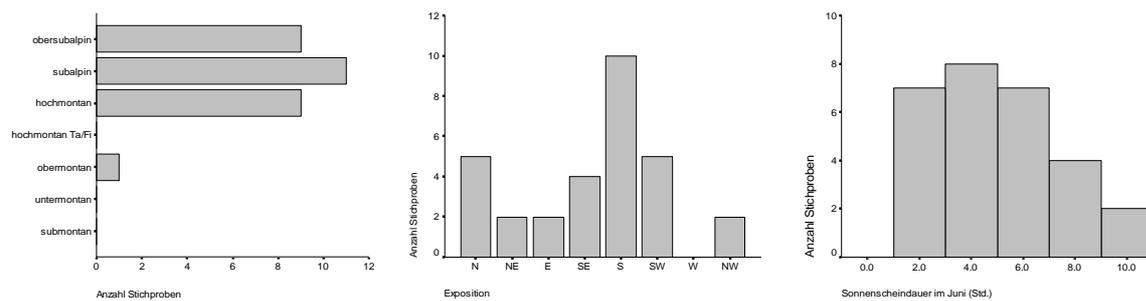
##### SURSELVA

Für die Surselva wurden 55 Vergleichsflächenpaare analysiert. Am häufigsten waren die Stufen obermontan bis hochmontan vertreten (Abb. 4). Für die Expositionen liessen sich zwei Schwerpunkte erkennen: Nordexponiert und südexponiert. Mit Ausnahme von fünf Flächen wiesen alle mehr als zwei Stunden Sonnenscheindauer im Juni auf.



**Abb. 4: Standortfaktoren Höhenstufe, Exposition und Licht auf den Kontrollflächenpaaren in der Surselva.**

## ENGADIN



**Abb. 5: Standortfaktoren Höhenstufe, Exposition und Licht auf den Kontrollflächenpaaren im Engadin.**

Im Engadin wurden 30 Vergleichsflächen ausgewertet – 14 davon im Nationalpark. Im Vergleich zu den anderen Regionen zeigte sich ein etwas anderes Bild (Abb. 5): Die Flächen lagen hochmontan bis obersubalpin und somit höher. Sie fokussierten sich mehrheitlich auf Süd-Exposition und waren im Juni mindestens während zwei Stunden von der Sonne beschienen worden.

## 3.2 Einfluss der Standortfaktoren auf die Verjüngungsparameter

### 3.2.1 Stammzahl

**Tab. 10: Einfluss von Standortfaktoren auf die Stammzahl der Zaunfläche, mit Koeffizient und Signifikanzklassen gemäss Regressionsanalyse; Aufnahme-Nr. 3.**

<i>Abhängige Variable: Inzsum</i>	<i>Prättigau</i>		<i>Surselva</i>		<i>Engadin</i>	
	<i>Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>
Konstante	9.841	***	6.980	***	3.617	***
müM (Meereshöhe in 1000m)	-3.806	*	-1.749	*	-	n.s.
expkat (Exposition in drei Kategorien)	-	n.s.	-	n.s.	0.800	*
zson6 (Sonnenscheindauer im Juni)	-0.184	*	-0.169	*	-	n.s.
<b>Bestimmtheitsmass</b>	<b>0.511</b>		<b>0.424</b>		<b>0.363</b>	

Im Prättigau und in der Surselva ergab sich ein signifikanter Einfluss der Standortfaktoren Meereshöhe und Sonnenscheindauer auf die Stammzahl (Tab. 10). Dabei fiel auf, dass die Stammzahl im Prättigau höher war. Sie nahm mit zunehmender Höhe aber doppelt so stark ab wie in der Surselva. Der Lichteinfluss war in den beiden Regionen vergleichbar; die Stammzahl nahm bei zunehmender Sonnenscheindauer ab.

Im Engadin wirkte sich einzig die Exposition auf die Stammzahl aus, wobei diese von der Exposition Nord bis Süd zunahm.

### 3.2.2 Baumartenzusammensetzung

Tab. 11: Einfluss von Standortfaktoren auf die Anzahl Baumarten der Zaunfläche, mit p-Wert und Signifikanzklassen gemäss Regressionsanalyse; Aufnahme-Nr. 3.

<i>Abhängige Variable: anzahl</i>	<i>Prättigau</i>		<i>Surselva</i>		<i>Engadin</i>	
<i>Unabhängige Variablen</i>	<i>Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>
Konstante	12.998	***	8.808	***	4.459	***
müM (Meereshöhe in 1000m)	-5.865	**	-2.713	**	-1.985	**
expkat (Exposition in drei Kategorien)	-	n.s.	-	n.s.	-	n.s.
zson6 (Sonnenscheindauer im Juni)	-0.284	*	-0.311	***	0.124	*
<b>Bestimmtheitsmass</b>	<b>0.533</b>		<b>0.669</b>		<b>0.656</b>	

Die Anzahl Baumarten wurde in allen Regionen von den Standortfaktoren Meereshöhe und Sonnenscheindauer signifikant beeinflusst (Tab. 11). Das Prättigau wies auf den Untersuchungsflächen die grösste Artenzahl auf, gefolgt von der Surselva und dem Engadin. Im Prättigau verringerte sich die Artenzahl mit zunehmender Meereshöhe stärker als in den übrigen Regionen. Mit zunehmender Sonnenscheindauer nahm die Artenzahl im Prättigau und in der Surselva leicht ab, während sie im Engadin leicht zunahm.

Zudem ergab sich für alle drei Regionen eine signifikante positive Korrelation zwischen der Gesamtstammzahl und der Anzahl Baumarten ( $p < 0.05$ , Spearman Korrelationskoeffizient Prättigau: 0.76, Surselva: 0.77, Engadin: 0.57). Zusätzlich konnte für das Prättigau und die Surselva ein positiver Zusammenhang zwischen der Baumartenzahl und der Anzahl Samenbaumarten, aufgeteilt nach Nadelbäume und Laubbäume, nachgewiesen werden ( $p < 0.05$ , Spearman Korrelation).

### 3.2.3 Einzelbaumwachstum

Für das Einzelbaumwachstum ergaben sich folgende lineare Regressionsgleichungen, welche die Baumhöhe bestimmen. Folgend wird die Gleichung für die Baumart Fichte nach Flächentyp und Waldregion aufgezeigt (Tab. 12).

**Tab. 12: Regressionsmodell Einzelbaumwachstum mit Bestimmtheitsmass, Koeffizienten und Signifikanzniveau. Bsp. Fichte im Prättigau auf Vergleichs- und Zaunfläche**

<b>Prättigau</b>			
<b>Fichte (N=433)</b>	<b>Vergleichsfläche</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Sig.</b>
Bestimmtheitsmass: $r^2 = 0.669$	F-Test	0.000	***
<b>Variable</b>	<b>Koeffizienten</b>		
y= Baumhöhe in cm			
Konstante	$b_0 = 1.775$	0.000	***
$x_1$ = Baumalter (in Jahren)	$b_1 = 0.135$	0.000	***
$x_2$ = Meereshöhe (in 1000m)	$b_2 = -0.626$	0.000	***
$x_3$ = Sonnenscheindauer(in Std. Junisonne)	$b_3 = 0.106$	0.000	***
<b>Fichte (N=501)</b>	<b>Zaunfläche</b>	<b>p-Wert</b>	<b>Sig.</b>
Bestimmtheitsmass: $r^2 = 0.667$	F-Test	0.000	***
<b>Variable</b>	<b>Koeffizienten</b>		
y= Baumhöhe in cm			
Konstante	$b_0 = 2.411$	0.000	***
$x_1$ = Baumalter (in Jahren)	$b_1 = 0.160$	0.000	***
$x_2$ = Meereshöhe (in 1000m)	$b_2 = -1.383$	0.000	***
$x_3$ = Sonnenscheindauer(in Std. Junisonne)	$b_3 = 0.117$		
$x_4$ = Exposition (in Kategorien 1-3)	$b_4 = 0.118$	0.005	**
$\ln(y) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$			

Die Baumhöhe hing von den Standortfaktoren Meereshöhe, Sonnenscheindauer und Exposition signifikant ab, zudem spielte das Baumalter eine bedeutende Rolle. Die beiden Gleichungen unterschieden sich vor allem aufgrund des stärkeren negativen Einflusses der Meereshöhe. Ergo wuchsen die Bäume ausserhalb des Zaunes in höheren Lagen relativ besser. Das bedeutet, dass der Zaun tiefer unten einen grösseren Einfluss auf das Einzelbaumwachstum hatte als weiter oben.

**Tab. 13: Regressionsmodelle Einzelbaumwachstum für die häufig vorkommenden Baumarten in den Regionen Prättigau, Surselva und Engadin mit Bestimmtheitsmass und Signifikanzniveau.**

<b>Region</b>	<b>Art</b>	<b>Flächentyp</b>	<b>Regressionsgleichung</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Sig</b>
Prättigau	Tanne	Zaun(N=352)	$\ln(y) = 2.541 + 0.156\text{Alter} - 1.241\text{müM} + 0.086\text{Licht}$	0.678	***
		Vergleich(N=198)	$\ln(y) = 2.062 + 0.078\text{Alter} - 0.510\text{müM} + 0.041\text{Licht}$	0.352	***
	Buche	Zaun(N=184)	$\ln(y) = 5.012 + 0.171\text{Alter} - 2.181\text{müM} - 0.121\text{Exp}$	0.589	***
		Vergleich(N=232)	$\ln(y) = 4.061 + 0.126\text{Alter} - 1.613\text{müM} - 0.134\text{Exp}$	0.460	***
	Bergahorn	Zaun(N=201)	$\ln(y) = 2.483 + 0.148\text{Alter} - 0.820\text{müM} - 0.116\text{Licht}$	0.438	***
		Vergleich(N=184)	$\ln(y) = 1.711 + 0.108\text{Alter} + 0.651\text{müM} - 0.191\text{Exp}$	0.362	***
	Vogelbeere	Zaun(N=226)	$\ln(y) = 1.905 + 0.149\text{Alter} + 0.093\text{Licht}$	0.438	***
		Vergleich(N=216)	$\ln(y) = 2.076 + 0.088\text{Alter} + 0.034\text{Licht}$	0.297	***

<b>Region</b>	<b>Art</b>	<b>Flächentyp</b>	<b>Regressionsgleichung</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Sig</b>
Surselva	Fichte	Zaun(N=721)	$\ln(y) = 2.528 + 0.139\text{Alter} - 1.071\text{müM} + 0.103\text{Licht}$	0.624	***
		Vergleich(N=644)	$\ln(y) = 1.749 + 0.156\text{Alter} - 0.591\text{müM} + 0.085\text{Licht}$	0.676	***
	Tanne	Zaun(N=254)	$\ln(y) = 1.733 + 0.106\text{Alter}$	0.550	***
		Vergleich(N=205)	$\ln(y) = 1.651 + 0.077\text{Alter}$	0.409	***
	Föhre	Zaun(N=55)	$\ln(y) = 1.309 + 0.185\text{Alter} + 0.220\text{Licht}$	0.559	***
		Vergleich(N=38)	$\ln(y) = 1.783 + 0.066\text{Alter} + 0.120\text{Licht}$	0.567	***
	Buche	Zaun(N=138)	$\ln(y) = 0.130 + 0.008\text{Alter} + 0.020\text{Licht}$	0.608	***
		Vergleich(N=143)	$\ln(y) = 3.688 + 0.098\text{Alter} - 0.074\text{Licht} - 0.283\text{Exp}$	0.506	***
	Bergahorn	Zaun(N=25)	$\ln(y) = 1.390 + 0.127\text{Alter} + 0.414\text{Exp}$	0.335	***
		Vergleich(N=27)	$\ln(y) = 0.379 + 0.198\text{Alter} + 0.232\text{Licht}$	0.891	***
	Vogelbeere	Zaun(N=462)	$\ln(y) = 1.696 + 0.146\text{Alter} + 0.140\text{Licht}$	0.416	***
		Vergleich(N=410)	$\ln(y) = 1.674 + 0.084\text{Alter} + 0.101\text{Licht} + 0.135\text{Exp}$	0.333	***

<b>Region</b>	<b>Art</b>	<b>Flächentyp</b>	<b>Regressionsgleichung</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Sig</b>
Engadin	Fichte	Zaun(N=75)	$\ln(y) = 1.012 + 0.079\text{Alter} + 0.843\text{müM}$	0.350	***
		Vergleich(N=77)	$\ln(y) = 1.116 + 0.133\text{Alter} + 0.140\text{Licht}$	0.779	***
	Lärche	Zaun(N=107)	$\ln(y) = 8.022 + 0.070\text{Alter} - 2.509\text{müM} - 0.246\text{Exp}$	0.668	***
		Vergleich(N=85)	$\ln(y) = 3.566 + 0.040\text{Alter} - 0.121\text{Licht} - 0.483\text{Exp}$	0.753	***
	Arve	Zaun(N=21)	$\ln(y) = 2.674 + 0.098\text{Alter} - 0.410\text{Licht}$	0.797	***
		Vergleich(N=13)	$\ln(y) = 4.115 - 0.814\text{Exp}$	0.834	***
	Föhre	Zaun(N=72)	$\ln(y) = 2.736 + 0.140\text{Alter} - 0.745\text{müM} + 0.220\text{Exp}$	0.520	***
		Vergleich(N=18)	$\ln(y) = -0.913 + 3.128\text{müM} - 0.729\text{Licht}$	0.683	***
	Vogelbeere	Zaun(N=14)	$\ln(y) = -33.145 + 0.183\text{Alter} + 23.236\text{müM}$	0.915	***
		Vergleich(N=10)	$\ln(y) = -4.537 + 5.100\text{müM}$	0.391	***

Die Baumhöhen aller Baumarten hingen positiv vom Alter ab (Tab. 13). Ein Vergleich der beiden Flächentypen zeigte, dass sich das Alter im Zaun stärker positiv auf die Höhe auswirkte als ausserhalb. Im selben Alter waren die Bäume aller Arten auf der Zaunfläche höher.

Der Faktor variierte zwischen 1,2 und 2. Mit zunehmendem Alter vergrößerte sich dieser Unterschied.

Der Faktor Meereshöhe übte einen unterschiedlichen Einfluss aus: Im Prättigau wirkte er vorwiegend negativ mit deutlichem Einfluss für Fichte, Tanne und Buche; in der Surselva beeinflusste er die Baumhöhe mit Ausnahme der Fichte nicht. Auf der Zaunfläche wirkte sich die Meereshöhe stärker aus als auf der Vergleichsfläche. Die Baumhöhe nahm mit zunehmender Meereshöhe auf der Zaunfläche relativ stärker ab als auf der Vergleichsfläche.

Die Sonnenscheindauer beeinflusste im Prättigau und in der Surselva die Baumarten Fichte, Föhre und Vogelbeere deutlich positiv, während sie auf die Tanne, den Bergahorn und die Buche nur einen geringen positiven, gar keinen oder einen leicht negativen Einfluss ausübte. Der Lichteinfluss wirkte sich für die meisten Baumarten im Zaun stärker aus als ausserhalb.

Die Exposition, ausgedrückt in drei Kategorien<sup>7</sup> beeinflusste im Prättigau und in der Surselva die Nadelbaumarten nicht. Die Laubbaumarten reagierten unterschiedlich. Im Prättigau zeigte sich sowohl für den Bergahorn als auch für die Buche ein besseres Wachstum an den Nordhängen als an den Südhängen, wobei dies für den Ahorn nur auf der Vergleichsfläche galt. In der Surselva wuchs die Buche auf der ungezäunten Fläche auf nordexponierten Hängen ebenfalls besser, während der Bergahorn auf den Zaunflächen der Expositionen Süd ein höheres Wachstum aufwies.

Im Engadin wuchsen die Lärche und die Arve (*Pinus cembra*) auf den nordexponierten Hängen besser. Dies wirkte sich insbesondere auf den Vergleichsflächen deutlich aus. Die Föhre gedieh auf den Südhängen besser. Die Fichte wurde von der Exposition nicht beeinflusst.

Im Engadin wies das Alter einen geringeren Einfluss auf als im Prättigau und der Surselva; das Wachstum war gering. Dies bedingte unter anderem die stärkere Variation der Ergebnisse. Zudem basierten die Berechnungen zum Teil auf wenigen Individuen. So nahm mit zunehmender Höhe das Wachstum der Fichte leicht zu, das der Lärche sehr stark ab und dasjenige der Vogelbeere massiv zu.

---

<sup>7</sup> 1= nordwest bis nordost; 2= west und ost; 3= südost bis südwest

### 3.3 Analyse und Vergleich der Verjüngungsmerkmale auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche

#### 3.3.1 Zustand und Entwicklung der Stammzahl

Für die Auswertung der Variabilität der Stammzahl wurden für das Prättigau 18, für die Surselva 43 und für das Engadin 21 Vergleichsflächenpaare ausgewertet; eine genaue Auflistung ist Anhang B zu entnehmen.

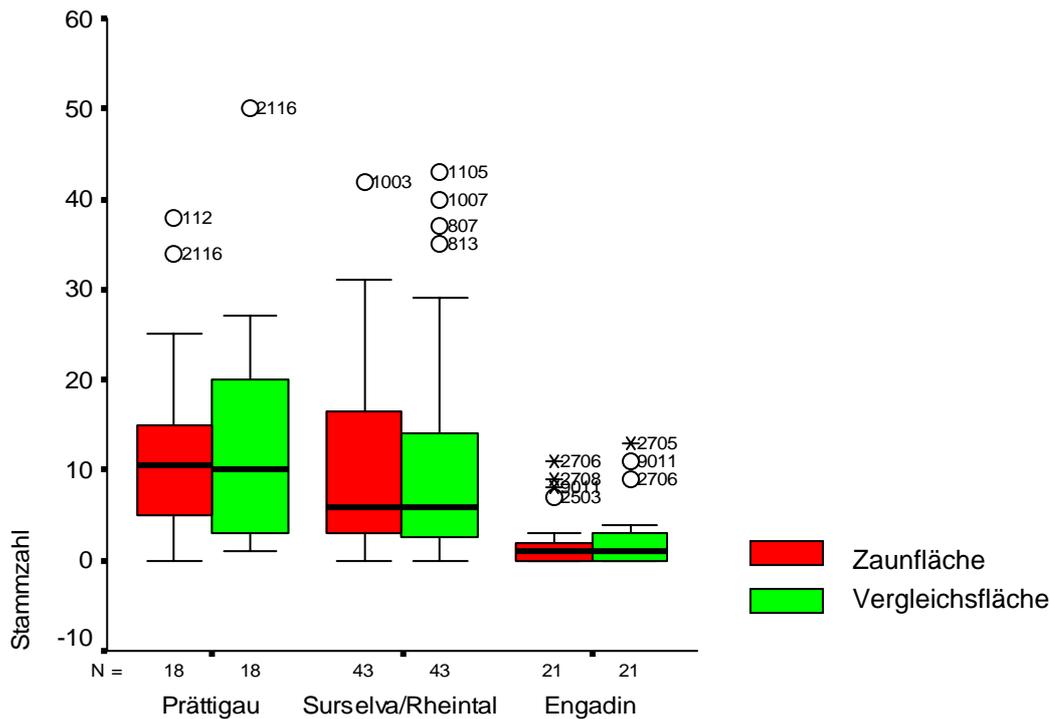
#### AUSGANGSZUSTAND

Die formulierten Bedingungen stellten sicher, dass von einem vergleichbaren Ausgangszustand ausgegangen wurde. Bei der Erstaufnahme betrug der Unterschied der Mediane der Stammzahlen auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche für die Regionen Prättigau eins, für die Surselva und das Engadin null (Tab.14). Die grössten Stammzahlen wies das Prättigau auf, die Kleinsten das Engadin.

Die Streuungen der Stammzahlen im Prättigau und im Engadin waren auf der Zaunfläche kleiner als auf der Vergleichsfläche, während in der Surselva das Gegenteil der Fall war (Abb. 6). Die Extremwerte verteilten sich in allen Regionen auf beiden Flächen gleichmässig.

Tab. 14: Stammzahl nach Regionen und Aufnahmeummer, ausgedrückt als Median.

<i>Region</i>	<i>Zaunfläche</i>			<i>Vergleichsfläche</i>		
	<i>Aufnahme</i>					
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Prättigau	11	29	102	10	20	39
Surselva	6	18	34	6	16	28
Engadin	1	12	8	1	4	0



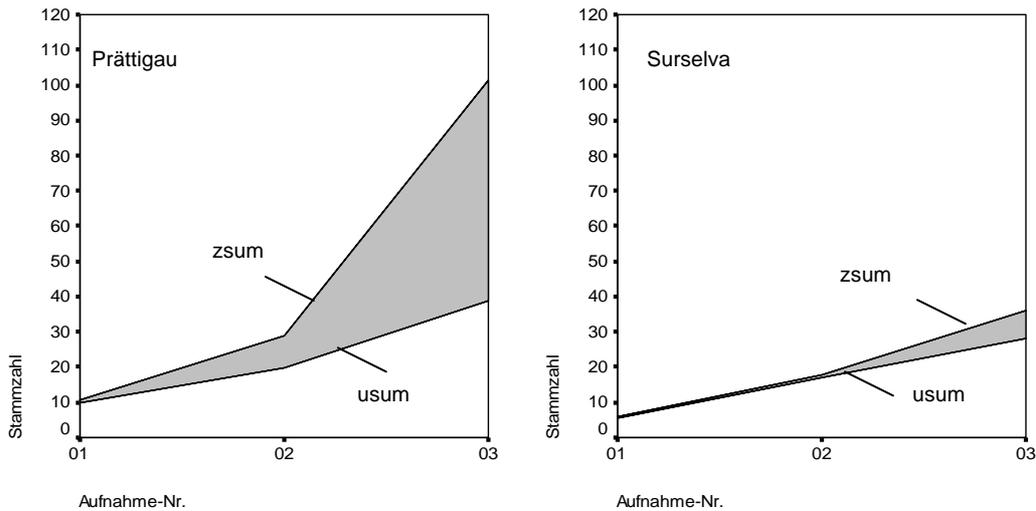
**Abb. 6 : Vergleich von Stammzahlen auf der Zaun- und Vergleichsfläche nach Waldregionen (Ausgangszustand).**

Im Ausgangszustand bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der Zaun- und der Vergleichsfläche ( $p > 0.1$ , Wilcoxon-Test). Dies traf sowohl für die Gesamtstammzahl als auch für die Stammzahl der Nadel- und Laubbaumarten zu.

### ENTWICKLUNG DER STAMMZAHL

#### Prättigau und Surselva

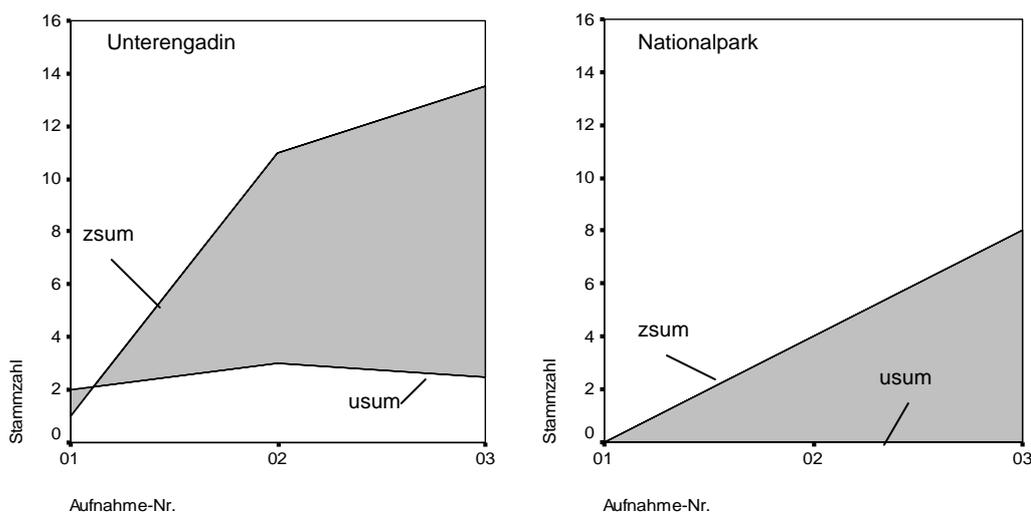
Bei vergleichbarem Ausgangszustand nahm die Stammzahl in beiden Regionen auf der Zaunfläche stärker zu als auf der Vergleichsfläche (Abb. 7). In der Surselva war dieser Unterschied viel weniger ausgeprägt als im Prättigau. Zudem war die Zunahme im Prättigau in der 2. Periode deutlich stärker als in der Ersten. Dies galt sowohl für die gezäunte Fläche als auch für die Ungezäunte. Folglich erreichte im Prättigau die Stammzahl einen deutlich höheren Wert.



**Abb. 7: Entwicklung der Mediane der Stammzahldifferenzen auf der Zaun- und der Vergleichsfläche im Prättigau und in der Surselva.**

### Engadin

Die Entwicklung der Stammzahldifferenz verlief ähnlich wie in den beiden anderen Untersuchungsgebieten, wobei im Engadin die Stammzahl kleiner war (Abb. 8). Während sich die Stammzahl auf der Zaunfläche deutlich steigerte, nahm sie im Unterengadin auf der Vergleichsfläche zuerst leicht zu, bevor sie sich danach wieder leicht reduzierte. Ein Vergleich zu den Flächen im Nationalpark zeigte, dass dort ausserhalb des Zaunes nur auf drei der sieben Flächen einzelne Individuen vorkamen; der Median lag bei der Erst- und Drittaufnahme bei null.



**Abb. 8: Entwicklung der Stammzahldifferenzen auf der Zaun- und der Vergleichsfläche im Unterengadin (links) und im Nationalpark (rechts).**

### ZUSTAND DER STAMMZAHL BEI DER DRITTAUFNAHME

Rund zehn Jahre später, bei der Drittaufnahme lag die Stammzahl in allen Regionen deutlich höher (Abb. 9). In allen Regionen war der Median auf der Zaunfläche höher als auf der Vergleichsfläche. Im Prättigau und im Engadin war die Streuung auf der Zaunfläche grösser, was auf eine stärkere Variation hindeutet.

Sowohl die Extremwerte als auch die Ausreisser waren mehrheitlich auf den Zaunflächen zu finden.

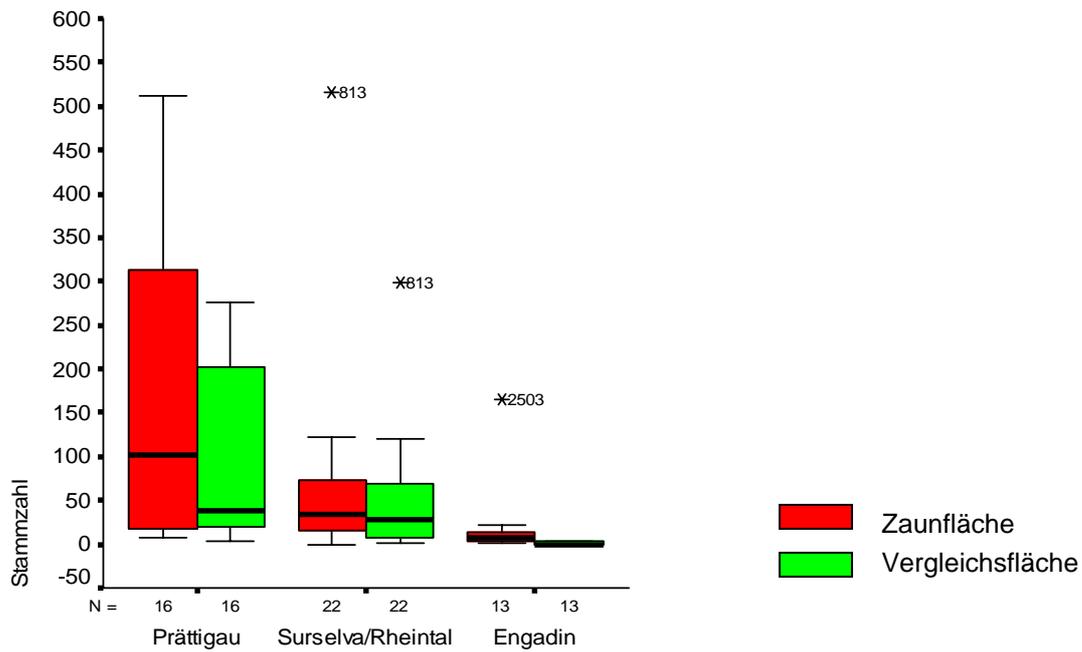


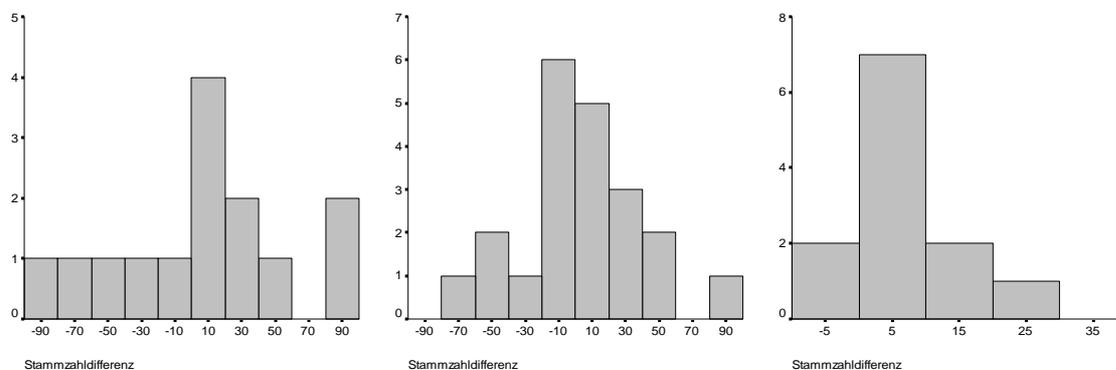
Abb. 9: Vergleich von Stammzahlen auf der Zaun- und Vergleichsfläche nach Waldregionen.

**Tab. 15: Stammzahl bei der Drittaufnahme nach Regionen und Flächentyp (Fläche 25m<sup>2</sup>).**

	<i>Prättigau</i>		<i>Surselva</i>		<i>Engadin</i>	
<i>Höhenstufe</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>
Hochmontan-obersubalpin	28	25	19	21	7.5	1
Submontan-obermontan	163	73	97.5	79.5	-	-

Eine Unterteilung der Stammzahl in zwei Kategorien der Höhenstufe zeigte, dass von submontan bis obermontan mehr Bäume gezählt wurden, als von hochmontan bis ober-subalpin. Der Unterschied zwischen Zaunfläche und Vergleichsfläche war im Prättigau und im Engadin signifikant ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test).

**Stammzahldifferenz**



**Abb.10: Häufigkeiten der Stammzahldifferenzen im Prättigau (links), in der Surselva (mitte) und im Engadin (rechts).**

Die Häufigkeit der Stammzahldifferenzen zeigte: Nach rund zehn Jahren wiesen im Prättigau ca. 69% der Flächenpaare auf der Zaunfläche die grössere Stammzahl auf, in der Surselva traf dies für 57% und im Engadin für 71% der Fälle zu (Abb. 10).

**Tab. 16: p-Werte und Signifikanzklassen gemäss dem Wilcoxon-Test.**

<i>Region</i>	<i>Stammzahl</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	<i>p-Wert</i>	<i>Signifikanz</i>
Prättigau	Gesamtstammzahl	zsum	usum	0.156	n.s
	Stammzahl Nadelbäume	zsumnd	usumnd	0.006	**
	Stammzahl Laubbäume	zsumlb	usumlb	0.008	**
Surselva	Gesamtstammzahl	zsum	usum	0.194	n.s
	Stammzahl Nadelbäume	zsumnd	usumnd	0.038	*
	Stammzahl Laubbäume	zsumlb	usumlb	0.144	n.s
Engadin	Gesamtstammzahl	zsum	usum	0.003	**
	Stammzahl Nadelbäume	zsumnd	usumnd	0.006	**
	Stammzahl Laubbäume	zsumlb	usumlb	0.655	n.s

Bei der 3. Aufnahme traten signifikante Unterschiede von Stammzahlen auf der Zaunfläche und der Vergleichsfläche auf (Tab. 16). Bei der Betrachtung der Gesamtstammzahlen fiel auf, dass nur im Engadin ein stark signifikanter Unterschied festgestellt wurde. Dieses Ergebnis resultierte, da die Gesamtstammzahl vorwiegend aus Nadelbaumarten bestand.

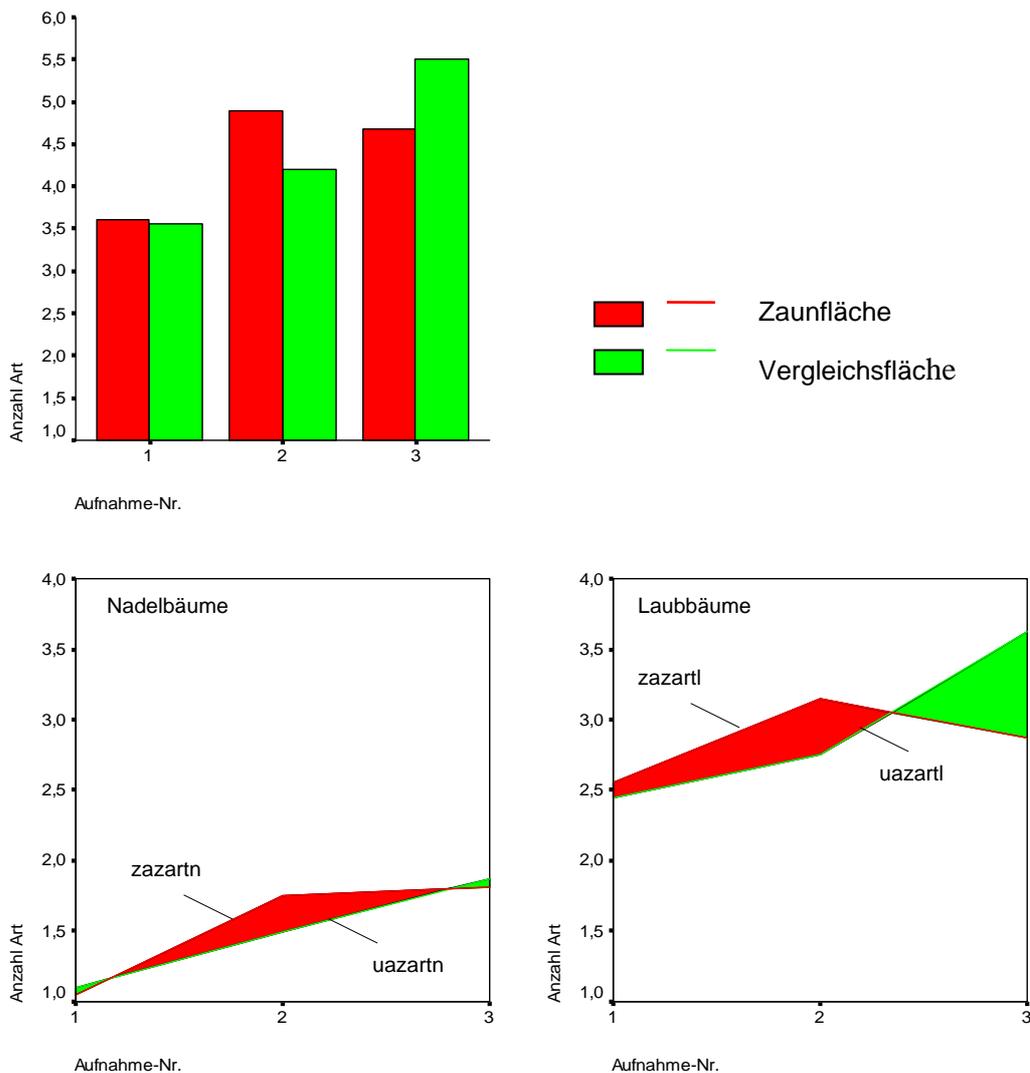
In den beiden anderen Regionen zeigte sich ein anderes Bild: Während sich im Prättigau sowohl die Nadelbaumarten als auch die Laubbaumarten auf der gezäunten Fläche und der Ungezäunten stark signifikant unterschieden, war die Differenz in der Surselva ausschliesslich für die Nadelbaumarten signifikant.

Obwohl sowohl die Nadel- als auch die Laubbaumarten sich signifikant unterschieden, war dies für die Gesamtstammzahl nicht der Fall. Dies resultierte daher, dass in diesen Fällen die Stammzahlen der Laubbaumarten ausserhalb und die, der Nadelbaumarten innerhalb des Zaunes grösser waren.

### 3.3.2 Zustand und Entwicklung der Baumartenzusammensetzung

Nach Erfüllung der Bedingungen konnte von einem vergleichbaren Ausgangszustand auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche ausgegangen werden. Insgesamt verblieben 94 Flächenpaare in der Auswertung; im Prättigau 20, in der Surselva 51 und im Engadin deren 23 (vgl. Anhang B).

#### PRÄTTIGAU



**Abb. 11: Zustand und Entwicklung der Anzahl Baumarten auf der Zaun- und Vergleichsfläche im Prättigau: alle Arten(oben), Nadelbäume (links) und Laubbäume(rechts).**

In der ersten Periode nahmen die Nadelbaum- und die Laubb Baumartenzahl auf der gezäunten Fläche signifikant zu ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test), während auf der Vergleichsfläche die Steigerung nicht signifikant war. Es resultierte ein höherer Wert der Gesamtartenzahl auf der Zaunfläche (Abb. 11), der Unterschied war aber nicht signifikant ( $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test). In der zweiten Periode vergrößerte sich die Artenzahl der Nadelbäume auf der Zaunfläche nur ganz leicht (n.s.,  $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test) und diejenige der Laubbäume verkleinerte sich (n.s.,

$p > 0.05$ , Wilcoxon-Test). Somit resultierten für die letzte Aufnahme mehr Laubbaumarten ausserhalb des Zaunes als innerhalb. Der Unterschied zeigte eine Tendenz zur Signifikanz auf ( $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test). Der Anteil der Laubbaumarten war rund doppelt so hoch wie der Anteil der Nadelbaumarten.

Gesamthaft betrachtet, befanden sich im Prättigau zum Zeitpunkt der Drittaufnahme – nach rund zehn Jahren – mehr Baumarten auf der Vergleichsfläche als auf der Zaunfläche ( $p = 0.06$ , Wilcoxon-Test). Dies zeigte sich deutlich bei den Laubbaumarten.

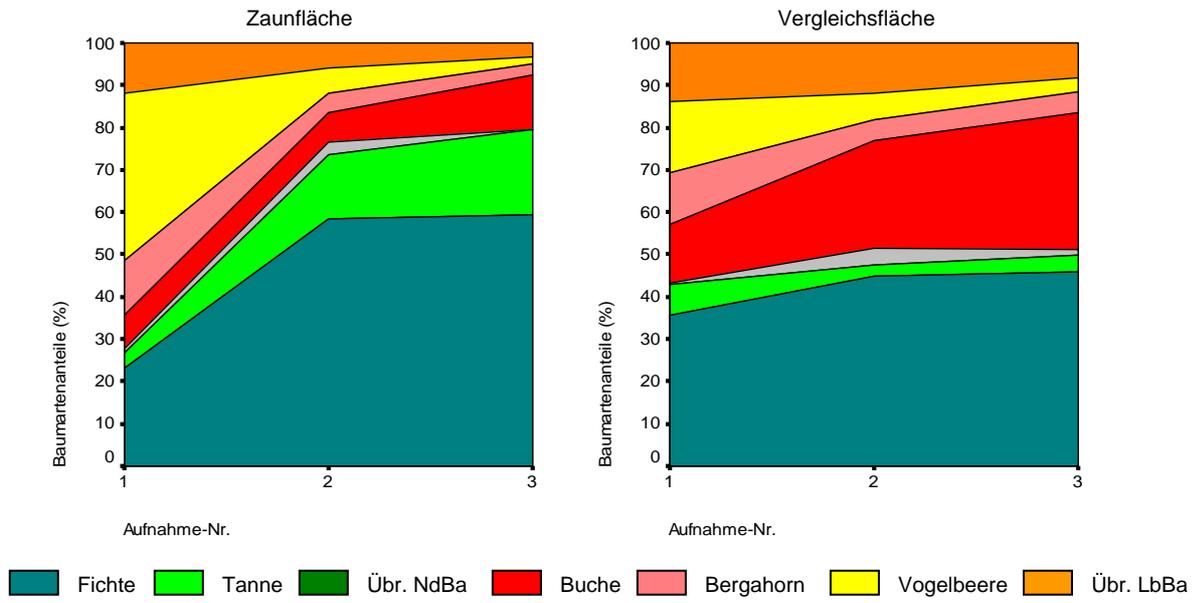
Die Fichte und die Tanne nahmen gemessen an der Gesamtstammzahl auf der Zaunfläche im Vergleich zu den Laubbaumarten überproportional zu ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test), wobei die Fichte mit 59% deutlich dominierte (Abb. 12). Der Tannenanteil belief sich bei 20%. Obwohl die Vogelbeere betreffend der Stammzahl leicht wuchs ( $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test), erlitt sie anteilmässig den grössten Verlust.

Auch auf der ungezäunten Fläche dominierte die Fichte – allerdings nicht im selben Ausmass – während der Tannenanteil tiefer lag und die Buche ihren Anteil steigerte. Die Verteilung der Baumartenanteile zeigte sich auf der Vergleichsfläche dementsprechend ausgeglichener. Sowohl die Stammzahl der Tanne, als auch jene des Bergahorns und der Vogelbeere nahmen im Verlauf der zehn Jahre signifikant ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test) ab. Dagegen vermochten die Fichte und die Buche ihre Anteile zu steigern ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test).

Gemessen an der Stammzahl waren die Fichte und die Tanne auf der Zaunfläche signifikant häufiger vertreten als auf der Vergleichsfläche. Das Gegenteil galt für die Buche, welche auf der Vergleichsfläche signifikant häufiger vorkam.

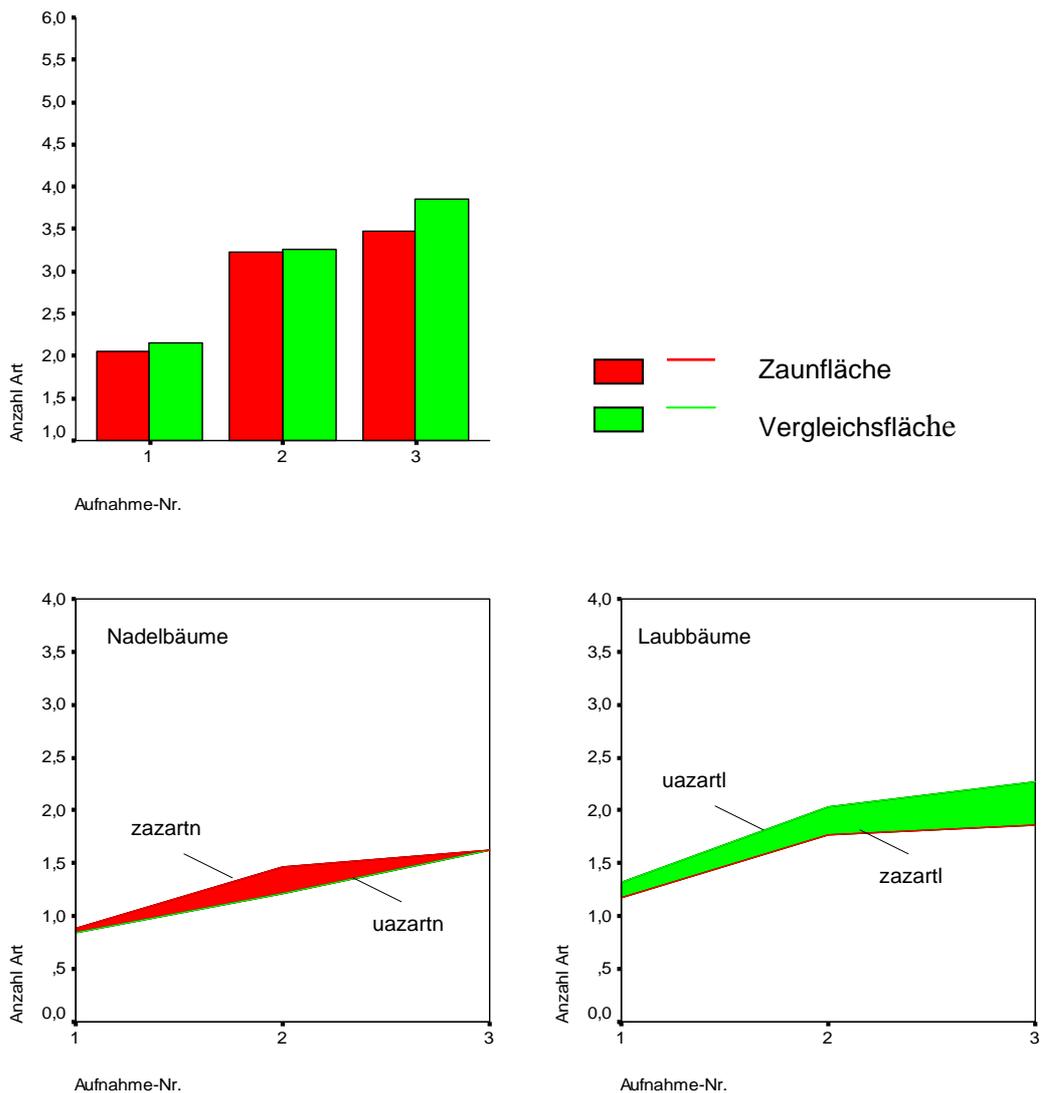
**Tab. 17: Entwicklung der mittleren Baumartenanteile nach Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche im Prättigau, sowie Unterschiede der Stammzahl auf den beiden Flächen mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Wilcoxon-Test.**

		<i>Aufnahme-Nr.</i>							
		<i>Zaunfläche</i>			<i>Vergleichsfläche</i>			<i>p-Wert</i>	<i>Sig.</i>
<i>Region</i>	<i>Baumart</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>(3)</i>	
Prättigau	Fichte	23%	59%	59%	36%	45%	46%	0.012	*
	Tanne	4%	15%	20%	7%	3%	4%	0.011	*
	Übrige Nadelbaumarten	1%	3%	0%	1%	4%	1%	0.480	n.s.
	Buche	8%	7%	13%	14%	26%	33%	0.018	*
	Bergahorn	13%	5%	3%	12%	5%	5%	0.363	n.s.
	Vogelbeere	40%	6%	2%	17%	6%	3%	0.167	n.s.
	Übrige Laubbaumarten	12%	6%	3%	14%	12%	8%	0.140	n.s.



**Abb. 12: Mittlere Baumartenanteile im Prättigau auf der Zaun- (links) und der Vergleichsfläche (rechts); gemessen an der Stammzahl.**

**SURSELVA**



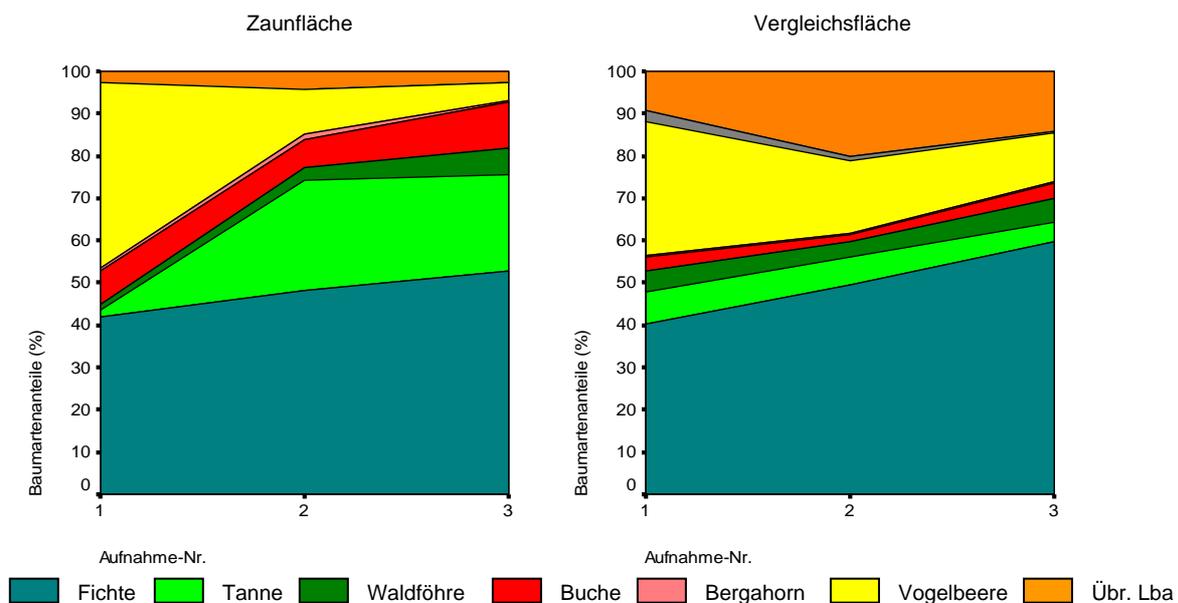
**Abb. 13: Zustand und Entwicklung der Gesamtanzahl Baumarten (oben) und Entwicklung der Nadelbaumartenzahl (links) und der Laubbaumartenzahl(rechts) in der Region Surselva.**

Die Gesamtartenzahl stieg sowohl auf der Zaunfläche als auch auf der Vergleichsfläche in Periode 1 ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test) etwas stärker an als in Periode 2 ( $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test) (Abb. 13). Der Unterschied zwischen den beiden Kontrollflächentypen zeigte sich erst bei der Drittaufnahme geringfügig, wo die Artenzahl auf der ungezäunten Fläche leicht höher lag; der Unterschied war aber nicht signifikant ( $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test).

Eine getrennte Betrachtung nach Baumartenklassen verdeutlichte, dass mehr Nadelbaumarten auf der Zaunfläche vorkamen als auf der Vergleichsfläche. Gegensätzliches zeigte sich bei den Laubbaumarten, bei welchen mehr Arten auf der Vergleichsfläche beobachtet wurden. Beide Unterschiede waren allerdings nicht signifikant ( $p > 0.05$ , Wilcoxon-Test).

**Tab. 18: Entwicklung der mittleren Baumartenanteile nach Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche in der Surselva, sowie Unterschiede der Stammzahl auf den beiden Flächen mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Wilcoxon-Test für die 3. Aufnahme.**

		Aufnahme-Nr.							
		Zaunfläche			Vergleichsfläche			p-Wert	Sig.
Region	Baumart	1	2	3	1	2	3	(3)	
Surselva	Fichte	42%	48%	53%	40%	49%	60%	0.144	n.s.
	Tanne	2%	26%	23%	8%	7%	5%	0.008	**
	Föhre	1%	3%	6%	5%	4%	6%	0.180	n.s.
	Buche	8%	7%	11%	3%	2%	4%	0.715	n.s.
	Bergahorn	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0.891	n.s.
	Vogelbeere	44%	10%	4%	32%	17%	12%	0.085	.
	Esche	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0.317	n.s.
	Übrige Laubbaumarten	3%	4%	3%	9%	20%	14%	0.330	n.s.



**Abb. 14: Mittlere Baumartenanteile in der Surselva auf der Zaun- (links) und der Vergleichsfläche (rechts); gemessen an der Stammzahl.**

Auch in der Surselva dominierten auf der Zaunfläche die Nadelbaumarten (Abb. 14). Die Fichte steigerte ihren Anteil signifikant ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test) auf 53%, ausserdem nahm die Tanne ebenfalls massiv zu ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test) und erreichte 23%. Auffällig war, dass die Tanne auf Kosten der Vogelbeere, deren Stammzahl sich verringerte, zunahm. Die übrigen Arten hielten ihre Anteile über die Zeit in etwa konstant.

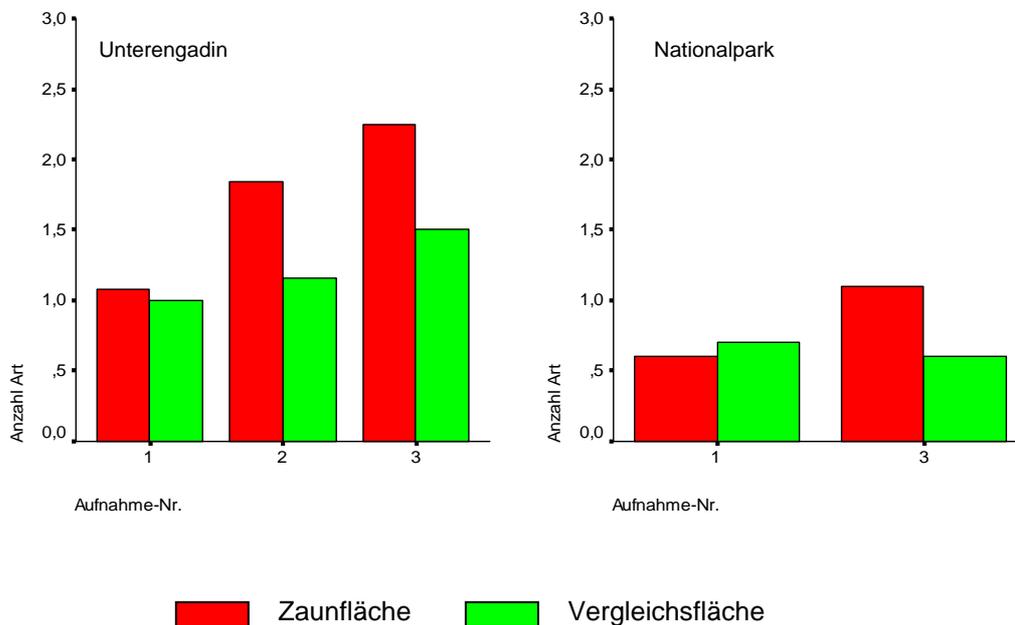
Auf der Vergleichsfläche lag der Anteil der Fichte etwas höher, derjenige der Föhre blieb gleich, während die Tanne im Gegensatz zur Zaunfläche bei zunehmender Stammzahl ihren Anteil im Verlaufe der Zeit leicht verringerte. Obwohl die Vogelbeere an Anteil eingebüsst

hatte, kam sie ausserhalb des Zaunes sehr schwach signifikant häufiger vor als innerhalb. Die übrigen Laubbaumarten nahmen im Vergleich zur Vogelbeere in der ersten Periode überproportional zu. Obwohl sie auf der Vergleichsfläche einen höheren Anteil aufwiesen als auf der Zaunfläche war der Unterschied nicht signifikant. Auf beiden Flächen verschwanden die Esche und der Bergahorn.

### UNTERENGADIN UND NATIONALPARK

Im Unterengadin stieg die Artenzahl auf der Zaunfläche stärker an als auf der Vergleichsfläche (Abb. 15); auf beiden Flächen war der Anstieg gleichmässig, aber nicht signifikant ( $p > 0.05$  Wilcoxon-Test). Dies konnte auch im Nationalpark nachgewiesen werden, mit dem Unterschied, dass dort die Artenzahl auf der ungezäunten Fläche abgenommen hatte. Die Artenzahl lag im Mittel im Unterengadin um eins höher als im Nationalpark. Dieser Unterschied zwischen dem Unterengadin und dem Nationalpark betreffend der Artenzahl aller Bäume als auch jener der Nadelbäume war signifikant ( $p < 0.05$ , Whitney-Mann-Test); dies galt aber nur für die Zaunfläche.

Der Anteil an Laubbaumarten war auf den beobachteten Flächen nur gering. Es kam vereinzelt die Vogelbeere vor (Tab.19). Im Unterengadin profitierte vor allem die Föhre vom Schutz durch den Zaun. Der Unterschied ihrer Stammzahl innerhalb und ausserhalb des Zaunes war bereits nach fünf Jahren signifikant ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test).



**Abb. 15: Zustand und Entwicklung der Gesamtanzahl Baumarten im Unterengadin (links) und im Nationalpark (rechts).**

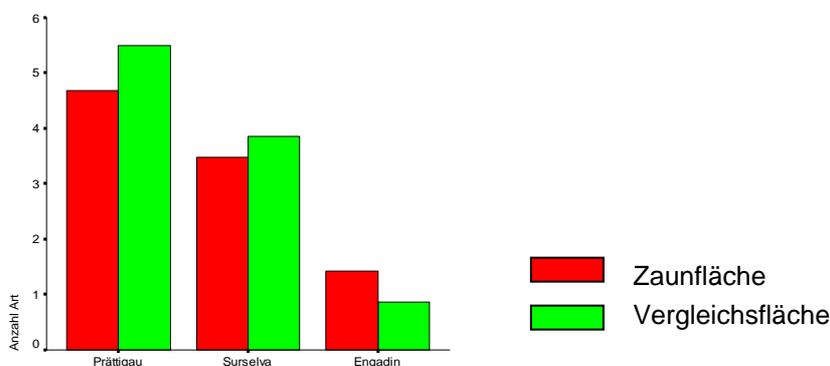
**Tab. 19: Entwicklung der mittleren Baumartenanteile nach Stammzahlen auf der Zaunfläche und auf der Vergleichsfläche im Unterengadin und Nationalpark, sowie Unterschiede der Stammzahl auf den beiden Flächen mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Wilcoxon-Test.**

		<i>Aufnahme-Nr.</i>							
		<i>Zaunfläche</i>			<i>Vergleichsfläche</i>			<i>p-Wert</i>	<i>Sig.</i>
<i>Region</i>	<i>Baumart</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>(2)</i>	
Unterengadin	Fichte	71%	13%	60%	33%	18%	33%	0.232	n.s.
	Lärche	14%	31%	-	40%	52%	11%	0.144	n.s.
	Föhre	14%	53%	40%	27%	28%	33%	0.012	*
	Vogelbeere	-	4%	-	-	3%	22%	0.317	n.s.
Nationalpark	Fichte	-	-	3%	-	-	-	0.317	n.s.
	Lärche	85%	-	49%	(75%)	-	(86%)	0.225	n.s.
	Arve	15%	-	48%	(25%)	-	(14%)	0.027	*

Auf der Vergleichsfläche ist eine Aussage schwierig, weil nur wenige Bäume vorkamen. Sowohl die Fichte als auch die Lärche waren seltener. Die Unterschiede im Zaun und ausserhalb waren aber nicht signifikant. Die Baumartenverteilung gestaltete sich ausgeglichener. Zudem wies die Vogelbeere einen beträchtlichen Anteil von 22% auf, wobei es zu beachten galt, dass der Unterschied in der Häufigkeit zwischen der Zaun- und der Vergleichsfläche nicht signifikant war.

Im Nationalpark stellte sich heraus, dass die Arve den Zaun zu ihren Gunsten ausgenützt hatte und zusammen mit der Lärche die Fläche zu gleichen Anteilen bedeckte; der Unterschied im Vorkommen der Arve auf den beiden Kontrollflächen erwies sich als signifikant. Ausserhalb des Zaunes war eine Aussage schwierig, da nur wenige Bäume vorkamen; die Arve hatte mehr Schwierigkeiten sich zu etablieren.

### VERGLEICH ÜBER DIE REGIONEN



**Abb. 16: Mittlere Artenzahl bei der Drittaufnahme.**

Das Prättigau wies die meisten Baumarten auf, gefolgt von der Surselva und dem Engadin (Abb. 16). Die Artenzahl lag im Prättigau bei der Drittaufnahme nach zehn Jahren nur auf der Vergleichsfläche signifikant höher als in der Surselva ( $p < 0.05$ , Mann-Whitney-Test). Dies galt für die Gesamtanzahl, aber auch nur für die Anzahl der Laubbaumarten. Auf der Zaunfläche war der Unterschied nur die ersten fünf Jahren signifikant ( $p < 0.05$ , Mann-Whitney-Test).

Sowohl im Prättigau als auch in der Surselva kamen auf beiden Flächentypen signifikant ( $p < 0.05$ , Mann-Whitney-Test) mehr Arten vor als im Engadin. Dieser Unterschied resultierte durch die grosse Differenz der Laubbaumarten ( $p < 0.05$ , Mann-Whitney-Test); ausserhalb des Zaunes war auch die Anzahl Nadelbaumarten signifikant kleiner.

Während die Artenzahl insbesondere im Engadin und zu Beginn im Prättigau vom Schutz durch den Zaun profitierte und anstieg, verlief die Zunahme in der Surselva auf den beiden Flächentypen ausgeglichen. Nach zehn Jahren war die Baumartenzahl auf der Vergleichsfläche in den Regionen Prättigau und Surselva im Mittel höher als auf der Zaunfläche. Die Zahl der Nadelbäume war auf der gezäunten Fläche tendenziell höher als auf der ungezäunten, umgekehrt verhielten sich die Laubbäume. Auf der Vergleichsfläche zeigte sich, dass die Baumartenanteile gleichmässiger verteilt waren. In beiden Regionen dominierte die Fichte unabhängig vom Flächentyp. Die Tanne nutzte den Schutz durch den Zaun aus und erreichte beachtliche Anteile. Im Prättigau und in der Surselva wies die Tanne bereits bei der 2. Aufnahme nach ca. fünf Jahren ausserhalb des Zaunes eine signifikant ( $p < 0.05$ , Wilcoxon-Test) kleinere Stammzahl auf. Auf der Vergleichsfläche kamen in beiden Regionen die Gruppe der übrigen Laubbäume häufiger vor; zusätzlich war im Prättigau die Buche häufig, in der Surselva die Vogelbeere.

Etwas anders entwickelte sich die Situation im Engadin. Es ergaben sich von Beginn weg tendenziell signifikant ( $p < 0.1$ , Wilcoxon-Test) höhere Artenzahlen auf der Zaunfläche im Vergleich zur ungezäunten Fläche. Besonders profitierten die Arten Föhre und Arve vom Zaun.

## Zustand und Entwicklung des Einzelbaumwachstums

### PRÄTTIGAU UND SURSELVA

Betreffend dem Einzelbaumwachstum waren sowohl für das Prättigau als auch für die Surselva bei der Drittaufnahme nach zehn Jahren eindeutige Unterschiede zwischen den Zaunflächen und den Vergleichsflächen feststellbar (Tab. 20). Für die Tanne, die Buche und die Vogelbeere innerhalb des Zaunes resultierten bereits nach fünf Jahren signifikant grössere Baumhöhen ( $p < 0.05$ , Kruskal-Wallis-Test); der Bergahorn unterschied sich nur im Prättigau, die Föhre und die Fichte nur in der Surselva signifikant. Für alle untersuchten Arten bestand bei der Erstaufnahme kein signifikanter Unterschied ( $p > 0.05$ , Kruskal-Wallis-Test).

Es fiel auf, dass die Baumhöhen einiger Baumarten im selben Alter – es bestand kein signifikanter Unterschied der Variable Alter ( $p > 0.05$ , Kruskal-Wallis-Test) – dabei im Zaun um ein vielfaches grösser waren als ausserhalb. Der Faktor betrug im Alter 12-16 Jahre für Tanne, Föhre, Bergahorn und Vogelbeere drei, und für Buche 1.5.

**Tab. 20: Einzelbaumwachstum verschiedener Baumarten auf der Zaun- und der Vergleichsfläche in der Surselva, mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Kruskal-Wallis-Test; Drittaufnahme.**

			Aufnahme-Nr.								
			Zaunfläche			Vergleichsfläche			p-Wert	Sig.	
Reg.	Baumart		1	2	3	1	2	3	(3)		
Prättigau	Fichte	Alter (a)	6	8	13	7	8	15			
		Höhe (cm)	19	35	80	19	29	66	0.223	n.s.	
	Tanne	Alter (a)	4	8	12	4	7	13			
		Höhe (cm)	10	23	51	8	11	17	0.000	***	
	Bergahorn	Alter (a)	6	10	16	6	10	15			
		Höhe (cm)	26	79	130	24	40	42	0.000	***	
	Buche	Alter (a)	7	10	15	7	11	15			
		Höhe (cm)	52	120	212	51	91	140	0.000	***	
	Vogelbeere	Alter (a)	6	10	15	6	9	15			
		Höhe (cm)	25	80	141	21	28	46	0.000	***	
Surselva/Rheintal	Fichte	Alter (a)	6	10	14	5	10	15			
		Höhe (cm)	17	42	94	17	39	74	0.011	**	
	Tanne	Alter (a)	5	9	15	4	9	15			
		Höhe (cm)	9	20	47	8	12	16	0.000	***	
	Föhre	Alter (a)	4	5	10	5	6	12			
		Höhe (cm)	12	34	99	16	19	31	0.000	***	
	Buche	Alter (a)	7	11	17	6	10	15			
		Höhe (cm)	37	92	194	33	65	126	0.000	***	
	Vogelbeere	Alter (a)	6	9	14	5	9	14			
		Höhe (cm)	9	106	183	9	42	59	0.000	***	

## ENGADIN

**Tab. 21: Einzelbaumwachstum verschiedener Baumarten auf der Zaun- und der Vergleichsfläche im Engadin, mit p-Werten und Signifikanz-Klassen gemäss Kruskal-Wallis-Test**

		<i>Aufnahme-Nr.</i>								
		<i>Zaunfläche</i>			<i>Vergleichsfläche</i>			<i>p-Wert</i>	<i>Sig.</i>	
<i>Reg.</i>	<i>Baumart</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>			
Engadin	Fichte	Alter (a)	7	8	12	7	9	14		
		Höhe (cm)	25	28	38	25	36	62	0.853	n.s.
	Waldföhre	Alter (a)	5	7	-	7	6	-		
		Höhe (cm)	12	24	-	15	12	-	0.000	***
	Lärche	Alter (a)	18	16	-	16	14	-		
		Höhe (cm)	70	91	-	80	67	-	0.247	n.s.
	Arve (N=10)	Alter (a)	7	14	-	18	13	-		
		Höhe (cm)	16	38	-	20	14	-	0.004	**
	Vogelbeere (N<10)	Alter (a)	6	13	15	6	19	11		
		Höhe (cm)	60	294	430	30	25	40	0.025	*

Während sich die Baumhöhe der Fichte auf den beiden Flächentypen nicht signifikant unterschied, wiesen die Waldföhre die Arve und die Vogelbeere im Zaun signifikant grösseren Höhen auf (Tab. 21). Dabei war die Waldföhre nach sieben Jahren im Zaun etwa doppelt so hoch wie ausserhalb.

Die Anzahl Baumindividuen von Vogelbeere und Arve war für eine korrekte statistische Aussage nicht ausreichend. Es liessen sich daraus nur Tendenzen ablesen.

Das abnehmende mittlere Alter im Fall der Lärche, der Arve und der Vogelbeere kam zu Stande, weil bei der zweiten und dritten Folgeaufnahme einige Bäumchen abgestorben oder die Markierung verloren hatten und somit nicht mehr eindeutig identifiziert werden konnten.

#### VERGLEICH ÜBER DIE REGIONEN

In allen drei Regionen zeigten sich auf den beiden Flächentypen deutliche Unterschiede in der Baumhöhe. Mit Ausnahme der Fichte, waren alle Baumarten auf der Zaunfläche bis dreimal so gross wie auf der Vergleichsfläche. Die Baumhöhen waren im Prättigau und in der Surselva vergleichbar; im Engadin wurden leicht tiefere Werte verzeichnet.

### 3.3.3 Analyse der in der statistischen Auswertung nicht berücksichtigten Vergleichsflächenpaare

#### STAMMZAHL UND BAUMARTENZUSAMMENSETZUNG

Die Ursache für das Ausbleiben der Verjüngung stellten die Verjüngungshemmnisse in Form von Vegetationskonkurrenz (Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum*), Perlgras (*Calamagrostis villosa*)) und die Trockenheit oder das Schneegleiten dar. In diesen Fällen konnte sich während den zehn Jahren keine Verjüngung etablieren.

Auf zwei Flächen wurden die Standortverhältnisse durch Schürfung verändert und folglich nahm die Stammzahl in Periode 1 um bis zu 120 zu; zudem gesellte sich im einen Fall (2803) mit der Lärche eine zweite Art zur Fichte. Auf der Fläche (816) ist die Artenzahl mit Fichte, Föhre, Birke, Weide und Mehlbeere von null auf fünf gestiegen.

Nicht in die Auswertung der Stammzahl schafften es zudem 15 Flächenpaare. Diese wiesen eine Stammzahldifferenz zwischen der Zaunfläche und der Vergleichsfläche von mehr als 25 auf. In sechs Fällen davon betrug die Differenz ohne ersichtliche standörtliche Ursachen über 50. Eine Analyse dieser Kontrollflächen ergab, dass bei Ausgangswerten von über 600 die Stammzahl mit der Zeit abnahm. Lagen die Werte zu Beginn um 100, dann nahmen sie weiter zu. In meisten dieser Fälle stellten diese Flächen sehr verjüngungsgünstige Standorte dar und die Entwicklungen innerhalb und ausserhalb des Zaunes unterschieden sich kaum.

Deren zehn Flächenpaare kamen zusätzlich nicht in die Auswertung für die Baumartenzusammensetzung, weil die Differenz zwischen Zaun- und Vergleichsfläche zu Beginn über zwei betrug. Diese liessen sich in zwei Kategorien aufteilen:

In die Gruppe 1(drei Flächenpaare), in welcher auf der Zaunfläche mehr Arten vorkamen als auf der Vergleichsfläche, nahm die Artenzahl im Zaun leicht zu oder leicht ab und ausserhalb, wo zu beginn nur wenig Arten vertreten waren, steigerte sie sich stark.

In die Gruppe 2 (siebn Flächenpaare), wo die Vergleichsfläche mehr Arten aufwies als die Zaunfläche, blieb dieser Unterschied bestehen; auf beiden Flächen nahm die Artenzahl leicht zu.

Die Beobachtungen aus den Auswertungen für die Stammzahl und die Artenzahl wurden auch durch diese Flächen bestätigt. Eine Ausnahme stellten einige Flächen mit überdurchschnittlich hohen Stammzahlen auf.

### 3.4 Einfluss des Wildes auf die Verjüngungsmerkmale

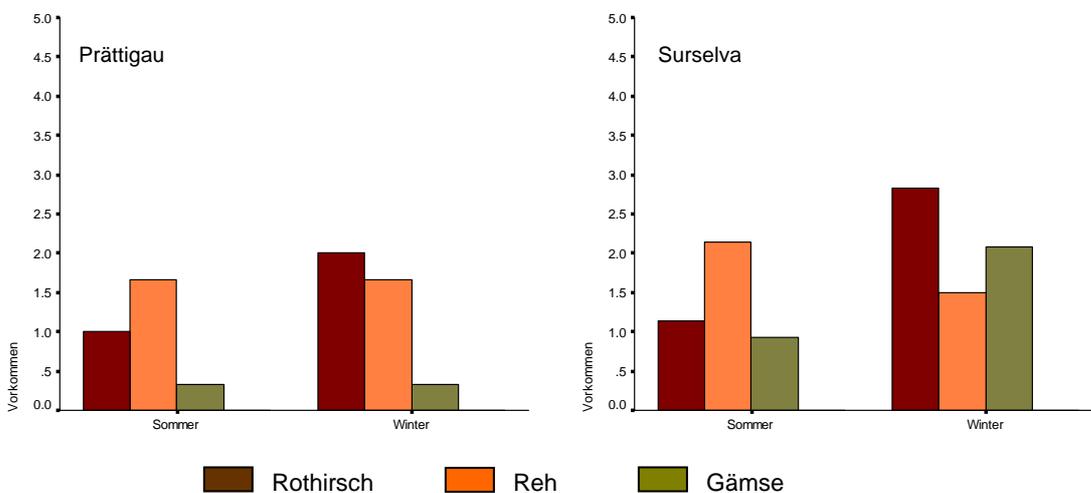
#### 3.4.1 Vorkommen von wilden Huftieren in den Regionen

##### PRÄTTIGAU UND SURSELVA

Das mittlere Vorkommen<sup>8</sup> von Wild im Prättigau zeigte auf, dass die Gämse und das Rehwild sich unabhängig von der Jahreszeit im Bereich der Kontrollzaunflächen aufhielten (Abb. 17). Der Rothirsch kam hingegen im Winter häufiger vor.

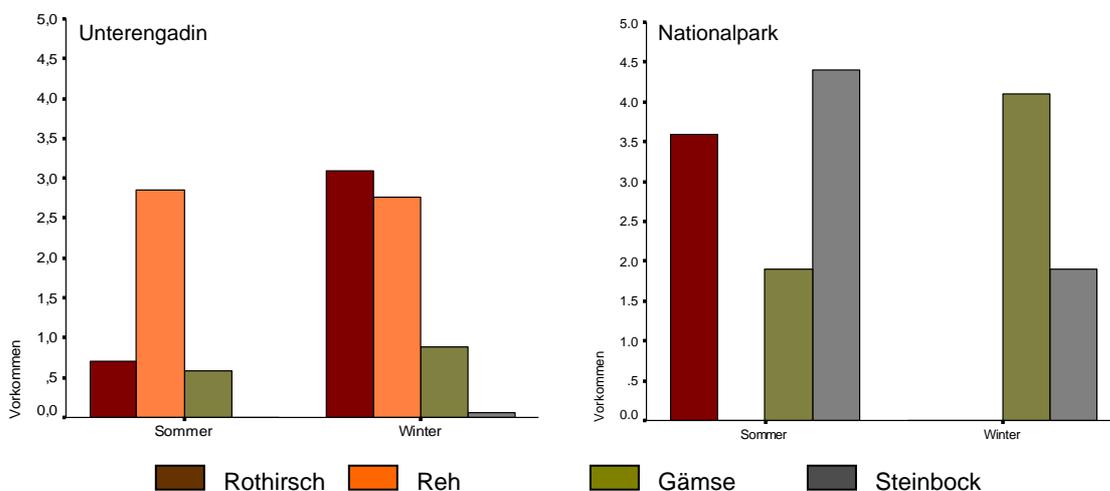
Während der Hirsch in der Surselva ein ähnliches Verhalten an den Tag legte, hielt sich das Reh im Winter weniger und das Gämswild mehr im Untersuchungsgebiet auf.

Die Gämse und der Rothirsch kamen in der Surselva häufiger vor, das Rehwild im ähnlichen Ausmass wie im Prättigau.



**Abb. 17: Mittleres Vorkommen von Wild auf den Kontrollzaunflächen im Prättigau (links) und in der Surselva (rechts).**

##### UNTERENGADIN UND NATIONALPARK



**Abb. 18: Mittleres Vorkommen von Wild auf den Kontrollzaunflächen im Unterengadin (links) und im Nationalpark (rechts).**

<sup>8</sup> Kategorie: 0= kein Vorkommen, 1=geringes Vorkommen, 3=mittleres Vorkommen, 5=grosses Vorkommen

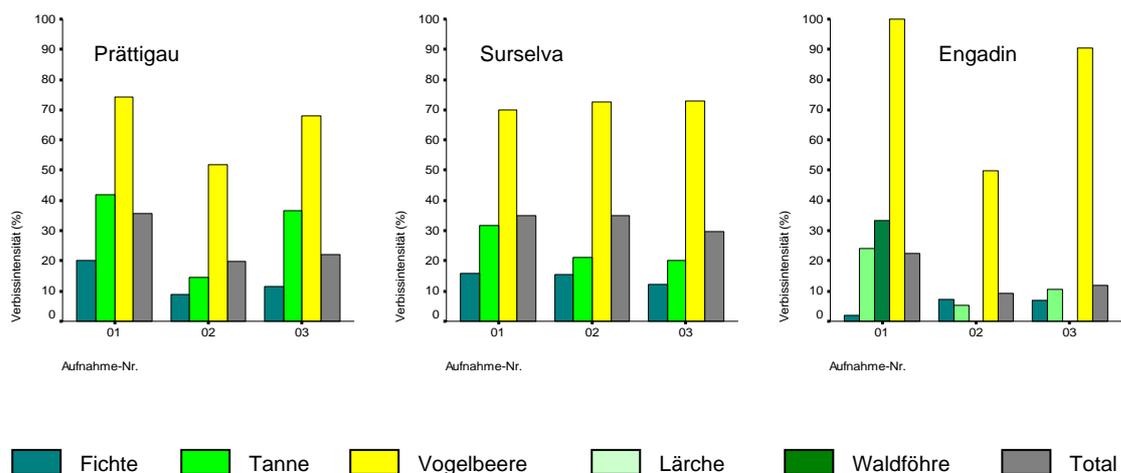
Das Wildvorkommen lag im Nationalpark deutlich über demjenigen im Unterengadin (Abb. 18). Während der Rothirsch im Unterengadin im Sommer nur in geringem Ausmass vorkam, hielt er sich im Winter häufiger in dieser Gegend auf. Gerade umgekehrt verhielt sich die Situation im Nationalpark, wo der Hirsch nur während des Sommers im Bereich der Kontrollzaunflächen vorkam. Das Reh hielt sich auf den untersuchten Flächen im Nationalpark nicht auf.

Sowohl Reh als auch Gämse nutzten im Unterengadin das Untersuchungsgebiet während des ganzen Jahres gleichmässig. Während sich die Gämsen im Winter häufiger in der Umgebung der Flächen aufhielten, traf dies für die Steinböcke im Sommer zu.

### 3.4.2 Verbissintensität

Bei der Drittaufnahme wurde auf 77% der Flächen ein Verbiss des Terminaltriebes verzeichnet. Als besonders verbissgefährdet zeigte sich die Vogelbeere, welche auf 95% der Flächen, auf welchen sie vorkam eine Verbissintensität von über 30% aufwies. Für die Tanne wurde auf der Hälfte der Flächen eine Verbissintensität von über 10% ermittelt.

Auch die mittlere Verbissintensität zeigte deutlich, dass die Vogelbeere in allen Regionen sehr stark, sowie die Tanne und die Fichte im Prättigau und in der Surselva über die ganze Beobachtungsdauer stark verbissen wurden (Abb. 19). Ausserdem lagen die Werte deutlich über den Richtwerten von Eiberle und Nigg (1987). Im Prättigau wurden Tanne und Vogelbeere, in der Surselva und im Engadin nur Letztere überdurchschnittlich verbissen. In allen Regionen waren keine bedeutenden Unterschiede über die Zeit feststellbar.



**Abb. 19: Entwicklung der mittleren Verbissintensität der einzelnen Baumarten in den Regionen Prättigau (links), Surselva und Engadin (rechts).**

### 3.4.3 Einfluss des Wildes auf die Stammzahl und die Baumartenzusammensetzung

Die Variable Wildvorkommen korrelierte weder mit der korrigierten Differenz der Stammzahl zwischen Zaun- und Vergleichsfläche noch mit jener der Artenzahl ( $p > 0.05$ , Spearman Korrelation). Dies galt sowohl für das Vorkommen übers ganze Jahr, als auch für die getrennte Betrachtung nach den Jahreszeiten Sommer und Winter. Ebenfalls liess sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der korrigierten Differenz der Stammzahl und der Verbissintensität nachweisen ( $p > 0.05$ , Spearman Korrelation).

### 3.4.4 Einfluss des Wildes auf das Einzelbaumwachstum

Es ergab sich für alle Regionen eine negative Korrelation zwischen der Häufigkeit des Wildvorkommens und der Baumhöhe der einzelnen Baumarten (Tab. 22). In den Regionen Prättigau und Surselva wurden die Höhen von Tanne, Bergahorn und Vogelbeere am stärksten beeinflusst; hingegen bestand eine geringe Korrelation bei Fichte und Buche. Im Engadin fiel die sehr hohe Korrelation zwischen der Höhe der Vogelbeere und dem Wildvorkommen auf, die Föhre und die Lärche wurden in einem weniger starken Ausmass beeinträchtigt. Eine Unterteilung nach Jahreszeiten zeigte keine deutlichen Unterschiede.

**Tab. 22: Wildvorkommen auf den Kontrollflächen und Einfluss auf die Baumhöhe von Baumarten, mit Spearman-Koeffizient und Signifikanzklassen nach Korrelationsanalyse.**

Prättigau										
Abhängige Variable: <i>In(Höhe)</i>	<i>Fichte</i> (N=247)		<i>Tanne</i> (N=132)		<i>Buche</i> (N=115)		<i>Bergahorn</i> (N = 84)		<i>Vogelbeere</i> (N=121)	
Unabhängige Variablen:	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>
wiso	-0.004	n.s.	-0.444	***	-0.351	***	-0.458	***	-0.542	***
wiwi	-0.109	.	-0.468	***	-0.354	***	-0.529	***	-0.478	***
witot	-0.028	n.s.	-0.456	***	-0.380	***	-0.535	***	-0.505	***
Surselva										
Abhängige Variable: <i>In(Höhe)</i>	<i>Fichte</i> (N=257)		<i>Tanne</i> (N=63)		<i>Buche</i> (N=96)		<i>Bergahorn</i> (N = 9)		<i>Vogelbeere</i> (N=189)	
Unabhängige Variablen:	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>
wiso	-0.158	*	-0.615	***	-0.489	***	-0.259	n.s.	-0.458	***
wiwi	-0.208	**	-0.601	***	-0.392	***	-0.259	n.s.	-0.488	***
witot	-0.181	**	-0.613	***	-0.449	***	-0.259	n.s.	-0.471	***
Engadin										
Abhängige Variable: <i>In(Höhe)</i>	<i>Fichte</i> (N=37)		<i>Föhre</i> (N=19)		<i>Lärche</i> (N=17)		<i>Vogelbeere</i> (N=8)			
Unabhängige Variablen:	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>	<i>Spearman Koeffizient</i>	<i>Sig.</i>
wiso	-0.180	n.s.	-0.547	*	-0.423	n.s.	-0.652			**
wiwi	-0.180	n.s.	-0.547	*	-0.423	n.s.	-0.913			**
witot	-0.180	n.s.	-0.547	*	-0.423	n.s.	-0.913			**

## **4 Diskussion**

### **4.1 Bedeutung der Standortfaktoren für die Verjüngungsmerkmale**

#### **STAMMZAHL**

Der Auswertung ist zu entnehmen, dass die Standortfaktoren Meereshöhe, Lichtverfügbarkeit und die Exposition die Stammzahl auf der Zaunfläche bedeutend beeinflussen. Dies wird von mehreren Untersuchungen bestätigt (z.B. Schütz 2000a; Ott et al. 1997; Ammer 1996a; Otto 1994). Für die Sonnenscheindauer scheint einerseits wichtig zu sein, dass genügend Licht vorhanden ist. Dies stellt eine Projektvoraussetzung dar. Die ausgewerteten Flächen weisen mit Ausnahme von sechs Flächen mehr als zwei Stunden Junisonne auf. Nach Ott et al. (1997) reichen zwei Stunden Junisonne für Fichtenverjüngung aus, der Tanne und der Buche genügen weniger; Lärche, Föhre, Bergahorn und Esche brauchen etwas mehr. Weiter zeigen die Resultate, dass sich die Stammzahl mit zunehmender Sonnenscheindauer verringert. Durch die erhöhte Strahlung wird die Austrocknung in Bodennähe gefördert. Dies kann die Verjüngung beeinträchtigen (Bugmann 2003; Ott et al. 1997).

Im Prättigau nimmt die Stammzahl mit zunehmender Meereshöhe stärker ab als in der Surselva. Da die Kontrollflächen in der Surselva tendenziell höher liegen, bedeutet dies, dass die Stammzahl in tieferen Lagen mit zunehmender Meereshöhe überproportional abnimmt. Dies deutet darauf hin, dass die Abnahme der Stammzahl von submontan bis oberhalbalpiner nicht linear verläuft. Dies könnte mit einer exponentiellen Regression geprüft werden.

Da nur auf wenigen Flächen (ca. 10%) Moderholz vorhanden ist, lässt sich statistisch kein signifikanter Einfluss nachweisen, die gilt auch für das Moderholz. Beide Faktoren spielen für die frühe Waldverjüngung eine zentrale Rolle. Viele Untersuchungen verwiesen auf die Wichtigkeit von Moderholz für die Verjüngung nach (Martin 2003; Stöckli 1999; Ott et al. 1997; Brang 1996).

Im Engadin beeinflusst einzig die Exposition die Stammzahl signifikant. Die Ursache ist zum einen in der geringen Stammzahl und zum anderen auf die Beschränkung der Kontrollflächen auf die hochmontane bis oberhalbalpine Stufe zu suchen. Obwohl das Engadin hohe tägliche Temperaturschwankungen und eine hohe Strahlungsintensität aufweist, ist auf den südexponierten Hängen eine höhere Stammzahl zu verzeichnen. Der positive Effekt der höheren Wärmeeinwirkung auf das Wurzelwachstum (Ott et al. 1997) der Bäumchen an den Südhängen scheint in der subalpinen Zone die Gefahr vor Austrocknung zu überwiegen.

#### **BAUMARTENZUSAMMENSETZUNG**

Neben den Faktoren Meereshöhe und Licht stellt das Angebot an Samenbaumarten eine wichtige Variable dar. Für das Prättigau und die Surselva steigt die Artenzahl mit zunehmender Anzahl Samenbaumarten linear an. Die Meereshöhe und Sonnenscheindauer üben in allen drei Regionen einen Einfluss auf die Anzahl Arten aus. Dabei kommen im Prättigau und

in der Surselva mit zunehmender Sonnenscheindauer weniger Baumarten vor; im Engadin ist das Gegenteil der Fall. Folglich hat die Hypothese, wonach die Artenzahl mit zunehmendem Lichtangebot zunimmt nur für das Engadin Gültigkeit. Eine mögliche Ursache dieses Phänomens basiert auf der Tatsache, dass aufgrund der Trockenheit weniger Arten vorkommen. Ein weiterer Faktor liegt darin, dass Lichtbaumarten wenig konkurrenzstarke Arten verdrängen können. Konkurrenz bewirkt in erster Line eine reduziertes Höhenwachstum (Firbank und Watkinson 1990 in Ammer 1996a). Als Folge davon, können zurückgebliebene Bestandeglieder eliminiert werden (Watkinson et al. in Ammer 1996a).

Zusätzlich ergibt die Auswertung einen linearen Zusammenhang zwischen der Anzahl Baumarten und der Stammzahl. Die Hypothese wird bestätigt, wonach mit grösserer Stammzahl mehr Arten existieren. Dies gilt solange keine interspezifische Konkurrenz als Folge von hohen Dichten eintritt (Weiner 1986).

### **EINZELBAUMWACHSTUM**

Die Standortfaktoren üben auf das Wachstum, respektive auf die Baumhöhe einen bedeutenden Einfluss aus. Die untersuchten Faktoren Meereshöhe, Sonnenscheindauer und Exposition weisen für einen Grossteil der Baumarten einen signifikanten Einfluss auf. Die Sonnenscheindauer spielt eine sehr bedeutende Rolle. Dabei korreliert das Höhenwachstum positiv mit dem Lichtangebot. Die Resultate von Ammer (1996a) ergeben die gleiche Wirkung.

Mit steigender Meereshöhe nimmt die Baumhöhe ab. Diese Ergebnisse decken sich mit den Befunden von Ammer (1996a), Lüscher (1990) sowie Heisig und Thomasius (1968).

Als dritter Faktor ist ausserdem die Exposition von Bedeutung. Ihr Einfluss hängt stark von der Baumart ab. Dabei nimmt die Baumhöhe der Buche mit zunehmender Südexposition ab. Die Buche ist eine Schattenbaumart und auf trockenen Standorten nicht mehr so dominant (Otto, 1994). Während sich der Bergahorn im Prättigau gleich verhält, weist er in der Surselva an den südexponierten Hängen die grössten Werte auf. Dies gilt auch für die Vogelbeere; beide Arten sind sehr lichtbedürftig (Otto, 1994).

Im Engadin wachsen Lärche und Arve an den südexponierten Hängen besser, die Föhre hingegen an den Nordexponierten.

Der Einfluss der Konkurrenz auf die Verjüngungsmerkmale wird in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Nach Weiner (1986) äussert sich die Konkurrenz in gleich alten Beständen bei hoher Dichte in einer starken Grössenvariation. Nach Ammer (1996a) beträgt der Anteil der Konkurrenz an der Variation des Höhenzuwachses bis zu 37%.

## 4.2 Bedeutung der Variabilität der Verjüngungsmerkmale

### 4.2.1 Stammzahl

#### **UNTERSCHIED IM ZUSTAND UND DER ENTWICKLUNG AUF DER ZAUN- UND VERGLEICHSFÄCHE**

Neben der minimal notwendigen Stammzahl interessiert wie stark sich die Entwicklung auf der Zaunfläche von derjenigen auf der Vergleichsfläche unterscheidet. Unter den gegebenen Voraussetzungen ist daraus der Einfluss des Wildes ableitbar.

Der grosse Unterschied zwischen der Stammzahl auf den beiden Flächentypen im Prättigau ist augenfällig. Dieser entsteht vorwiegend in der zweiten Periode und weist allerdings nur eine Tendenz zur Signifikanz auf. Zusätzlich fällt die deutlich höhere Streuung der Werte auf der Zaunfläche auf. Damit zeigt sich, dass im Zaun die Verjüngung betreffend der Stammzahl eine höhere Strukturvielfalt aufweist.

In der Surselva unterscheiden sich die Stammzahlen auf den beiden Flächentypen kaum voneinander. Auch die Bandbreite der Anzahl Individuen verhält sich ähnlich. Der Einfluss des Wildes scheint von geringerer Bedeutung zu sein.

Im Engadin liegt die Stammzahl deutlich tiefer als in den anderen Untersuchungsgebieten. Der Grund liegt im kontinentalen Klima. Im Vergleich zu den anderen Regionen ist es im Engadin trockener und kälter (Ott et al. 1997). Zudem liegen die Kontrollflächen in höheren Lagen. Als weiterer Punkt fällt auf, dass im Unterengadin wenig und im Nationalpark praktisch keine Verjüngung ausserhalb der Zäune vorkommt. Dies hängt zum einen von den hoch gelegenen Standorten ab. Da die Wilddichte im Engadin höhere Werte aufweist als im Prättigau und in der Surselva besteht die Möglichkeit, dass der Wildverbiss ebenfalls von Bedeutung ist. Zudem kommt im Engadin den Schlagschäden von Steinbock eine Bedeutung zu: Über 12% der Bäume (10 cm – Brusthöhendurchmesser 84 cm) wurden durch den Steinbock beeinträchtigt (Feuerstein 1997).

Die Resultate von Ammer (1996a), wonach kein signifikanter Unterschied in der Gesamtpflanzendichte beobachtet werden konnte, deckt sich nur für das Prättigau und die Surselva; gemäss seinen Studien wird der Rückgang von Individuenzahlen bestimmter Baumarten wie Tanne oder Bergahorn durch andere Arten (Fichte, Buche) wettgemacht. Diese Beobachtung deckt sich mit der Tatsache, dass die Gesamtartenzahl keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Flächentypen aufweist, während zum Beispiel im Prättigau auf der ungezäunten Fläche signifikant weniger Tannen oder Fichten vorkommen, dafür signifikant mehr Buchen. Ebenfalls zur selben Einsicht gelangen die Untersuchungen von König (1976) und Roth (1995).

Betrachtet man die Häufigkeiten, so zeigt sich hingegen, dass nach rund zehn Jahren (Drittaufnahme) auf knapp 70% der Flächen die Stammzahl auf der Zaunfläche grösser ist als ausserhalb. Da der Unterschied nicht signifikant ist, kann die Hypothese in dieser Form nicht bestätigt werden. Eine differenzierte Betrachtungsweise nach Laubbäumen oder Nadelbäu-

men ist nötig. Es muss berücksichtigt werden, dass auch durch Wildverbiss stark beeinträchtigte Individuen mitgezählt wurden. Daher ist es durchaus möglich, dass sich dieser Unterschied mit zunehmender Entwicklung stärker auswirkt. In diesem Fall würde die Beschädigung zur Folge haben, dass ein junger Baum in seiner Konkurrenzfähigkeit beeinträchtigt wird und dadurch langfristig ebenfalls verschwinden kann (Ammer, 1996a).

Die übrigen 30% der ausgewerteten Flächenpaare weisen mehr Stammzahlen auf der Vergleichsfläche auf als auf der Zaunfläche. Dieser Befund deckt sich mit demjenigen von Riisenhoover und Maass (1987). Dabei war es innerhalb des Zaunes zu konkurrenzbedingtem Ausfall gekommen, während ausserhalb die Verjüngung als Folge von starkem Elchverbiss über das pflanzenreiche Verjüngungsstadium nicht hinauskam.

### **BEDEUTUNG DER STAMMZAHL**

Die Stammzahl stellt bei der Beschreibung der Waldverjüngung ein äusserst wichtiges Merkmal dar. Dabei steht vor allem die Frage im Vordergrund, ob die vorliegende Anzahl Individuen genügen, um einen nachhaltig aufgebauten Wald zu ermöglichen.

Nach Kreiliger (1999) und Korpel (1995) kann eine Soll-Stammzahl für die Verjüngungsphase von 10 cm – 130 cm in der montanen Stufe von rund 10'000 bis 15'000 pro ha angenommen werden. Ein Blick auf die Stammzahlen verdeutlicht, dass in der Höhenstufen-Kategorie „submontan bis obermontan“, sowohl im Prättigau als auch in der Surselva auf der Zaun- und der Vergleichsfläche, mit über 30'000 Bäumchen pro ha, anzahlmässig genug Bäume vorhanden sind. Die Schwierigkeiten ergeben sich in den höheren Lagen „hochmontan bis obersubalpin“, wo die Standortfaktoren die Waldverjüngung stärker beeinträchtigen.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass sich der Wald in dieser Höhe rottenförmig verjüngt (Ott et al. 1997; Schönenberger et al. 1990). So kann angenommen werden, dass die Kontrollfläche einen Teil einer Rotte darstellt. Nach Ott et al. (1997) weist eine Rotte ein Durchmesser von ca. 13 m auf, was eine Kronenprojektionsfläche von 113 m<sup>2</sup> ergibt; diese Jungwaldrotten umfassen ca. 30 Bäumchen. Bei einer Umrechnung auf 25 m<sup>2</sup> (Kontrollfläche) resultiert eine Stammzahl von sieben. Nach Schönenberger et al. (1990) bilden sich Rotten aus Kleinkollektiven von drei bis vier Metern Durchmesser mit 20 bis 50 Bäumchen. Diese unterschiedlichen Werte werden so interpretiert, dass auf den Kontrollflächen mindestens sieben Bäumchen notwendig sind, um einen Teil einer Rotte zu bilden, wobei in der hochmontanen Stufe eine höhere Anzahl erwünscht ist.

Im Prättigau und in der Surselva liegt der Median der Stammzahl auf den ungezäunten Flächen nach rund zehn Jahren über 20. Folglich ist die rottenförmige Verjüngung möglich. Im Prättigau weisen 10%, in der Surselva 20% der Vergleichsflächen weniger als sieben Individuen auf.

Nach Schönenberger et al. (1990) und Ott et al. (1997) können sich neben der Fichte auch die Arve und die Lärche rottenförmig verjüngen, womit der Ansatz auch für das Engadin angewendet werden kann. Während auf der Zaunfläche der Median dort bei sieben liegt und somit die Voraussetzung gerade erfüllt, sind auf der Vergleichsfläche viel zu wenige Bäume vorhanden, um eine Rotte zu bilden. Eine Betrachtung der einzelnen Kontrollflächen ergibt, dass nach ca. zehn Jahren auf über 90% der untersuchten Flächenpaare im Engadin die Stammzahl auf der ungezäunten Fläche unter den geforderten sieben liegt – dies obwohl genügend Licht auf der Fläche vorhanden ist. Dies bedingt, dass die Verjüngung im Engadin unter Wildeinfluss nicht gewährleistet ist. Gemäss den getroffenen Annahmen wären die Schutzwälder nicht mehr in der Lage ihre Funktion nachhaltig zu erfüllen. Es ist zu anzumerken, dass dieser Ansatz auf einer Momentaufnahme basiert. Für eine differenzierte Betrachtung sind, zusätzlich zur Stammzahl, sowohl die räumliche als auch die zeitliche Komponenten mit zu berücksichtigen. Darüber ist mit der vorliegenden Arbeit keine Aussage möglich.

#### **4.2.2 Baumartenzusammensetzung**

##### **UNTERSCHIED IM ZUSTAND UND DER ENTWICKLUNG AUF DER ZAUN- UND VERGLEICHSFLÄCHE**

Ein Vergleich mit dem Altbestand in den untersuchten Regionen zeigt, dass im Prättigau und in der Surselva alle Hauptbaumarten bei der Erstaufnahme vertreten sind. Dies stellte auch Burschel et al. (1990) im Bergmischwald der bayerischen Alpen fest. Bereits bei der Dritttaufnahme fehlen inner- und ausserhalb einige Arten, wie Bergahorn oder Esche. Die Fichte ist sowohl auf der Zaunfläche als auch auf der Vergleichsfläche im Vergleich zum Altbestand leicht untervertreten; die Tanne weist im Prättigau einen etwas höheren Anteil und in der Surselva einen leicht niedrigeren auf. Hier gilt anzumerken, dass die Baumartenzusammensetzung im Altbestand aus den Stammzahlen auf den Stichprobenpunkten des Landesforstinventar ermittelt wurden. Die Zäune wurden aber häufig in Gebieten aufgestellt, wo die Tanne im Altbestand vorkommt. In Anbetracht dessen, fällt der Tannenanteil auf den Vergleichsflächen viel zu tief aus. Sowohl im Prättigau als auch in der Surselva kommen die Laubbaumarten Buche und Bergahorn anteilmässig in der frühen Verjüngungsphase häufiger vor als in den Altbeständen.

Die Betrachtung der Baumartenzusammensetzung auf der Zaunfläche illustriert: Das Ungleichgewicht verschiebt sich deutlich zugunsten der Fichte. Nach Ammer (1996a) ist hingegen auf den beiden Flächentypen kein Unterschied der Stammzahl von Fichten ersichtlich. Da auch die Tanne häufiger vorkommt, liegt der Anteil der Nadelbaumarten im Prättigau und in der Surselva zwischen 75 und 80%. Als Laubbaumart vermag sich einzig die Buche zu halten.

Auf der Vergleichsfläche kommen mehr Laubbaumarten vor folglich sind die Artenanteile ausgeglichener. Die Buche weist im Prättigau einen höheren Anteil auf. Gegensätzliches

konstatierte Ammer (1996a): Gemäss seinen Untersuchungen kommt die Buche ausserhalb des Zaunes signifikant weniger vor. Die Gruppe der übrigen Laubbaumarten (z.B. Weide (*Salix sp.*), Birke (*Betula pendula*), Mehlbeere (*Sorbus aria*)) weisen im Prättigau und der Surselva auf der Vergleichsfläche ebenfalls höhere Anteile an der Gesamtstammzahl auf.

Der Anteil an Vogelbeere unterscheidet sich inner- und ausserhalb des Zaunes nicht signifikant. Während Ott et al. (1997) den Hauptgrund für die Seltenheit der Vogelbeer-Vorwälder in der Wildschadensüberbelastung sehen, zeigt die Auswertung, dass die Vogelbeere im Prättigau und in der Surselva sich von anfangs über 40% bis unter 2% reduziert. Dies geschieht unabhängig vom Flächentyp. Es wird angenommen, dass innerhalb des Zaunes die Konkurrenz der Fichte dafür verantwortlich ist (Ott et al. 1997); auch sie beobachteten für die Vogelbeere Anteile von bis zu 75%. Ausserhalb wird der Vogelbeeranteil durch das Wild beeinflusst.

Die Tanne weist auf der Vergleichsfläche nur einen geringen Anteil auf. Der Unterschied zur gezäunten Fläche ist signifikant.

Im Engadin stimmt der Arvenanteil mit den Befunden von Risch (2004) überein, welche bei den Individuen von 20-130 cm Höhe einen Anteil von 24% feststellte. Der Arvenanteil liegt ohne Wildeinfluss aber doppelt so hoch.

Die Beobachtung verschiedener Untersuchungen, wonach eine Veränderung der Pflanzengemeinschaft als Folge von selektivem Verbiss eintritt, wird durch diese Arbeit bestätigt (z.B. Huntly 1991; Bryant et al. 1991; Putman 1986). Es ist wichtig diese Untersuchungen weiterzuführen damit diese Entwicklungen der Baumartenzusammensetzung weiterverfolgt werden können. Es ist anzunehmen, dass im Laufe der Sukzession der Anteil von schattentoleranten, wenig verbissgefährdeten Baumarten wie Fichte und Buche tendenziell zunimmt, während der Anteil von stark verbissgefährdeten Arten wie Tanne und Bergahorn weiter abnimmt.

### **BEDEUTUNG DER TANNE**

Die Tanne stellt einen wichtigen Bestandteil eines stabilen Bergmischwaldes dar (z.B. Ott et al. 1997, Ammer 1996a, Ott 1991). Grund dafür ist das Pfahlwurzelsystem, welches ihr gegenüber der Fichte eine grössere Stabilität gegen Windwurf verleiht (Schütz 2000b). Darüber hinaus wird sie durch den Buchdrucker (*Ips typographus*) nicht beeinträchtigt (Ott et al. 1997; Benz und Zuber 1996).

Alle diese Vorteile kommen nicht zum tragen, wenn die Tanne in der frühen Verjüngungsphase durch Wildverbiss derart zurückgedrängt wird, dass sie nur noch in Anteilen von 4-5% vorkommt. Dies gilt für den gesamten Alpenraum (Ammer 1996b; Motta 1996; Korpel 1995). Wie die Untersuchung aufzeigt, ist die Tanne innerhalb des Zaunes sowohl im Prättigau als auch in der Surselva, gemessen an den Stammzahlen, mit über 20% deutlich vertreten. In

den Bergmischwäldern Bayerns betrug der Tannenanteil ausserhalb des Zaunes zwischen 20% und 30%, während er innerhalb bis 30% höher lag (Ammer 1996b). Margl und Meister (1977) stellten sogar fest, dass die Tanne in 60% der Fälle infolge Wildverbiss vollständig aus der Verjüngung verschwand.

Zusammen mit dem starken Höhenzuwachsverlust ist diese Baumart stark beeinträchtigt. Als Folge davon kann die Schutzfähigkeit der Gebirgswälder in erheblichem Umfang gefährdet sein (z.B. Mayer und Ott 1991; Ammer 1990).

### **4.2.3 Einzelbaumwachstum**

#### **UNTERSCHIED IM ZUSTAND UND DER ENTWICKLUNG AUF DER ZAUN- UND VERGLEICHSFLÄCHE**

Dem Einzelbaumwachstum kommt eine besondere Bedeutung zu. Es bestimmt massgebend den Gefährdungszeitraum eines Baumes sowie die Dauer bis die Verjüngung schutzfähig ist, das heisst sie überragt die örtlich maximale Schneedecke deutlich (Ott et al. 1997).

Bei keinem der untersuchten Verjüngungsmerkmale zeigt sich der Unterschied zwischen Zaun- und Vergleichsfläche derart markant wie in der Baumhöhe. Damit decken sich die Befunde mit den Beobachtungen von Ammer (1996a), Perko (1983) und Burschel (1975), welche drastische Auswirkungen des Schalenwildes auf das Höhenwachstum von Naturverjüngungspflanzen feststellten. Auch die Untersuchungen von Roth (1995) ergaben, dass die Tanne, die Esche und die Buche in ihrer Höhenentwicklung stark behindert wurden.

Auf den beiden Flächentypen sind sowohl im Prättigau als auch in der Surselva die Höhen der meisten Baumarten bereits nach zehn Jahren stark signifikant unterschiedlich. Die Tanne, der Bergahorn und die Vogelbeere sind auf der Zaunfläche um einen Faktor drei und die Buche 1,5 höher. Die Fichte verzeichnet nur einen geringen Unterschied; sie ist nach Prien (1997) weniger verbissgefährdet als die übrigen betrachteten Baumarten.

Im Alter von 15 Jahren erreicht die Tanne unter Wildeinfluss die Höhe von 20 cm nicht. Sowohl Löw (1975) als auch Schreyer und Rausch (1977) bemerkten in ihren Untersuchungen, dass die Tanne ohne Zaunschutz Höhenklassen von 40 cm nur ausnahmsweise und über einem Meter nahezu nie erreichen.

Während die Fichte im Engadin auf der Vergleichsfläche höher ist, weisen die Waldföhre, die Lärche und die Arve auf der gezäunten Fläche ein stärkeres Wachstum auf. Dabei ist der Höhenunterschied für Arve und Föhre bereits nach zehn Jahren signifikant.

## BEDEUTUNG DER VARIABILITÄT DES EINZELWACHSTUMS

### Gefährdungszeitraum

Unter dem Gefährdungszeitraum wird das Durchschnittsalter der Pflanzen zum Zeitpunkt, indem sie die Verbissgrenze erreichen, verstanden (Eiberle und Nigg 1987) (Tab. 23). Den Berechnungen liegt die Annahme zugrunde, dass die Meereshöhe im Prättigau und in der Surselva 1'000 m.ü.M und im Engadin 1'500 m.ü.M sowie die Sonnenscheindauer 6 Std. betragen. Die Verbissgrenze wird bei einer Baumhöhe von 1.3 m festgelegt.

Die Tanne, als besonders verbissgefährdete Baumart, weist im Prättigau auf der Vergleichsfläche mit 39 Jahren einen doppelt so langen Gefährdungszeitraum auf wie auf der Zaunfläche. In der Surselva liegt er ebenfalls deutlich höher. Diese Werte sind höher als diejenigen von Roth (1995), welcher bei Tanne für eine Baumhöhe von 1.3 m eine Verzögerung der Höhenentwicklung von mindestens sechs Jahren feststellte. Sehr genau stimmen die Werte für die Fichte und die Tanne mit denjenigen von Eiberle und Nigg (1983) überein.

Für die Fichte ergeben sich keine bedeutenden Unterschiede; der Wert liegt bei ca. 25 Jahren. Eine Ausnahme bildet die Fichte auf den Zaunflächen im Engadin mit 33 Jahren. Diesem Wert liegt allerdings eine Regressionsgleichung mit geringer Bestimmtheitsmass ( $r^2 = 0.350$ ) zu Grunde. Es ist anzumerken, dass Lüscher für das Unterengadin (1990) ebenfalls Durchwuchszeiten von 40-50 Jahren für eine Baumhöhe von 2 m beobachtet hat. Rund fünf Jahre tiefer liegen jene von Näscher (1979) für vom Wild unbeschädigte Fichten.

Für die Föhren und die Lärche sind die Unterschiede zwischen Zaun- und Vergleichsfläche noch deutlich höher: Für die Lärche dauert es rund fünfmal und für die Föhre dreimal länger bis sie dem Äser des Wildes entwachsen sind.

Bei einer längeren Gefährdungsdauer steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum verbissen wird. Ergo sind Baumarten mit einem langsamen Jugendwachstum und gleichzeitig hoher Verbissbelastung besonders gefährdet. Nach Kech (1993) besteht eine Korrelation zwischen dem Alter einer 130 cm hohen Pflanze und der Zahl erlittener Verbissereignisse.

**Tab. 23: Gefährdungszeiträume in Jahren nach Baumarten und Regionen auf der Zaun(Z)- und der Vergleichsfläche (U).**

	<i>Fichte</i>		<i>Tanne</i>		<i>Lärche</i>		<i>Föhre</i>	
	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>
<i>Prättigau</i>	23	20	20	39	-	-	-	-
<i>Surselva</i>	29	27	30	42	-	-	12	36
<i>Engadin</i>	33	22	-	-	12	63	22	-

## **Schutzfunktion**

Von grosser Bedeutung für den Gebirgswald und speziell für die Wälder mit besonderer Schutzfunktion ist die Dauer bis die Verjüngung eine schutzfähige Höhe aufweist. Nach Mayer (1967) kann der Jungwald ab einer Höhe von 5 m die volle Schutzwirkung übernehmen. Betrachtet wird die Fichte auf einer Höhe von 1'500 m.ü.M und einer Sonnenscheindauer im Juni von 2 Stunden. Daraus berechnet sich für das Prättigau und die Surselva eine Dauer von knapp 40 Jahren und für das Engadin 50 Jahren. Es gilt zu beachten, dass dieser Berechnung ein rein logarithmisches Modell zugrunde liegt. Die Wachstumsfunktion verläuft hingegen „s-förmig“. Die Werte liegen daher etwas zu tief. Dies bestätigen auch die Werte von 50-80 Jahren nach Ott et al. (1997); ähnliche Daten lieferten die Untersuchungen im Urwaldreservat Rauterriegel von Mayer (1967) mit 35-105 Jahren in der subalpinen Stufe.

Da sich die Fichte im Höhenwachstum inner- und ausserhalb des Zaunes nicht signifikant unterscheidet, ergeben sich vergleichbare Werte unter Wildeinfluss. Wird ein Wachstumsmodell mit sämtlichen Baumarten eingesetzt, resultieren hingegen Differenzen.

Nach Ott et al. (1997) lässt sich der minimal notwendige Flächenanteil der Verjüngung aus der Division des schutzfähigen Alters der Verjüngung mit dem maximalen Altholzalter berechnen. Dauert es nun infolge des Wildverbisses zum Beispiel doppelt so lange, um eine Höhe von 5 m zu erreichen, muss sich auch der Flächenanteil der Verjüngung verdoppeln, wenn die Voraussetzung einer nachhaltig aufgebauten Waldstruktur gewährleistet werden soll.

## **4.3 Einfluss des Wildes auf die Verjüngungsmerkmale**

### **WILDVORKOMMEN**

Das Wildvorkommen ist in der Umgebung der Kontrollzaunflächen im Engadin etwas grösser als im Prättigau und in der Surselva. Zudem zeigen die Auswertungen saisonale und räumliche Verhaltensmuster einzelner Huftierarten auf. Während für das Rehwild keine saisonalen Schwankungen nachweisbar sind, kommt der Rothirsch in allen Regionen im Winter häufiger in der Umgebung der Vergleichsflächen vor. Im Winter leben nur wenig bis gar keine Hirsche auf den Kontrollflächen des Nationalparks, dafür mehr im Unterengadin. Untersuchungen von Voser (1987), Ondersheka et al. (1990) und der Wald-Wild-Bericht Surselva bestätigen diese Befunde für die entsprechenden Regionen. Eine jahreszeitliche Unterteilung ist daher von Bedeutung, dass nach Gill (1992a) die Nadelbäume vorwiegend im Winter und die Laubbäume vermehrt im Sommer verbissen werden.

Bei den Daten zum Wildvorkommen ist zu beachten, dass die für die jeweilige Gemeinde zuständigen Wildhüter oder Jagdaufseher für die Aufnahme verantwortlich sind. Diese subjektive Komponente ist in einem Vergleich innerhalb und zwischen den Regionen zu berücksichtigen. Um einen Einfluss der Wilddichte auf die Waldverjüngung nachzuweisen, würden

objektiv erhobene Daten über das Wild, wie Bestandeszählungen, Kottaxationen oder eine Ableitung aus den Abschusszahlen, weitere Möglichkeiten darstellen.

#### **EINFLUSS DES WILDVORKOMMENS AUF DIE VERJÜNGUNGSMERKMALE**

Wird davon ausgegangen, dass mit Ausnahme des Wildes sämtliche Standortfaktoren auf der Zaun- und der Vergleichsfläche identisch sind, manifestiert sich der Wildeinfluss auf die untersuchten Verjüngungsmerkmale deutlich.

Zudem wurde festgestellt, dass diejenigen Flächen, für welche nach Kap. 4.2.1 die Stammzahl nicht ausreicht, mindestens mittleres Wildvorkommen aufweisen. Ansonsten ergibt sich mit der vorliegenden Untersuchung aber keine signifikante Korrelation zwischen der Häufigkeit des Vorkommens und den Differenzen der Stammzahl und Artenzahl auf den beiden Flächentypen. Somit kann die Hypothese, wonach bei grösserem Wildvorkommen die Differenz der Stamm- oder der Artenzahl ebenfalls zunimmt nicht bestätigt werden. Dies gilt auch für die Betrachtung der Stammzahlen der einzelnen Baumarten.

Das kann einerseits bedeuten, dass auch eine niedrigere Wilddichte eine Differenz der Stammzahl oder der Artenzahl zu Folge haben kann. Dies würde sich mit der Beobachtung von Guthörl (1994) decken, der bei hoher Rehwilddichte einen geringeren Entmischungseffekt registrierte als bei Mittlerer. Es besteht aber auch die Möglichkeit eines nicht linearen Zusammenhangs.

Das Wildvorkommen hat hingegen einen negativen Einfluss auf die Baumhöhen der einzelnen Baumarten. Auch Kech (1993) konstatierte, dass der Wildverbiss nicht in der Dichte der Verjüngung, sondern in ihrem Höhenwachstum zum Ausdruck kommt. Besonders eindrücklich zeigt sich die Beeinträchtigung des Wachstums bei den verbissgefährdeten Arten wie Tanne, Bergahorn und Vogelbeere.

Obwohl sich das Wild in den Wintermonaten häufiger in der Umgebung der Kontrollzäune aufhält, lässt sich im Hinblick auf den Zusammenhang mit der Baumhöhe kein Unterschied zwischen dem Wildvorkommen im Sommer und im Winter erkennen.

#### **EINFLUSS DER VERBISSINTENSITÄT AUF DIE VERJÜNGUNGSMERKMALE**

Die Vogelbeere und die Tanne werden im Prättigau und in der Surselva überdurchschnittlich stark verbissen, beide Arten gelten nach Prien (1997) als stark verbissgefährdet. Diese Ergebnisse decken sich mit den Untersuchungen von Motta (2003), Roth (1995), Kech (1993) und Eiberle und Nigg (1983). Insbesondere fallen die konstant hohen Verbissintensitäten an Vogelbeere zwischen 50% und 100% auf. Diese Befunde entsprechen jenen von Motta (2003), welcher in den italienischen Alpen Werte bis knapp 80% nachweisen konnte. Die Werte der Fichte liegen für alle drei Aufnahmen im Prättigau und in der Surselva über den ermittelten Werten von Brändli (1995), im Engadin leicht darunter.

Da die Verbissintensität zu den drei Aufnahmezeitpunkten für die Tanne und die Vogelbeere über den Richtwerten liegt und sich nicht stark verändert, kann nach Eiberle und Nigg (1987) von einem mortalitätsbedingten Ausfall von Individuen dieser beiden Arten ausgegangen werden. Dies würde den signifikanten Unterschied zwischen den beiden Flächentypen, sowohl in der Baumhöhe als auch in der Stammzahl der Tanne erklären; dasselbe gilt für die mittlere Baumhöhe der Vogelbeere und für die Stammzahl der Fichte.

Ansonsten lässt sich kein linearer Zusammenhang zwischen der Verbissintensität und dem Unterschied der Verjüngungsmerkmale auf der Zaun- und Vergleichsfläche nachweisen. Nach Roth (1995) schwankt die Verbissintensität einzelner Baumarten auf den untersuchten Flächen jährlich bis 50%. Demzufolge ist es schwierig einen Einfluss des Wildes aus den Verbissintensitäten abzuleiten.

Ein weiterer Grund hierfür ist möglicherweise, dass die Ermittlung der Verbissintensität zum Teil nur auf wenigen Individuen pro Art beruht und sich so sehr schnell hohe Verbissprozente ergeben. Im Umgang mit der Verbissintensität ist zudem zu berücksichtigen, dass die berechnete Verbissintensität nur etwas über den Anteil der noch lebenden verbissenen Pflanzen in einer Verjüngung aussagt. Ohne Zusatzinformationen wie Stammzahl oder die räumliche Verteilung der Verjüngungsansätze kann anhand der Verbissintensität nur wenig über die Verjüngungssituation ausgesagt werden.

#### **4.4 Schlussfolgerungen**

Es haben sich klare Unterschiede in der Entwicklung der frühen Verjüngungsphase mit und ohne Wildeinfluss ergeben.

Fichte und Tanne, welche im Zaun dominieren, weisen ausserhalb des Zaunes signifikant weniger Individuen auf. Diese entstandene Lücke wird durch Laubbäume ersetzt. Vor allem weniger verbissgefährdete Baumarten wie Buche oder Birke nutzen dies aus und können sich so etablieren. Als Folge davon ist die Stammzahl der Laubbäume ausserhalb des Zaunes signifikant grösser als innerhalb. Gegensätzliches gilt für die Nadelbäume. Daraus resultiert im Prättigau und in der Surselva kein signifikanter Unterschied in der Gesamtstammzahl. Die Werte der jeweiligen Stammzahlen variieren in allen Regionen stark. Mit Ausnahme des Engadins reichen, nach Modellvorstellungen für einen nachhaltig aufgebauten Wald, die Stammzahlen auf der Vergleichsfläche für eine rottenförmige Waldverjüngung aus.

Während sich die Artenzahl auf beiden Flächentypen ähnlich verhält, lassen sich Unterschiede in der Baumartenzusammensetzung erkennen. Insbesondere die Tanne profitiert durch den Schutz des Zaunes. Ein grösserer Tannenanteil wäre im Hinblick auf einen stabilen Schutzwald von grosser Bedeutung.

Der markanteste Unterschied resultiert für das Einzelbaumwachstum. Einige Baumarten erreichen bereits im Alter von 15 Jahren im Zaun ein Vielfaches der Baumhöhe ausserhalb der

Umzäunung. Durch das schnellere Wachstum sind die Einzelbäume weniger lang dem Wildverbiss ausgesetzt und sind so früher in der Lage ihre schutzfähige Funktion zu übernehmen.

#### **4.5 Ausblick**

Wie die vorliegende Untersuchung zeigt, unterscheidet sich die Waldverjüngung mit und ohne Wild. Dabei fällt die anteilmässige Reduktion von Arten wie Tanne auf. Mit der starken Beeinträchtigung der Tanne kann die Schutzfähigkeit der Gebirgswälder eingeschränkt werden. Die Schutzvorrichtungen gegen Wild sind aufwändig und aufgrund des langsamen Wachstums der Bäume im Gebirge nicht zu unterhalten (Ammer, 1996a; Eiberle und Nigg, 1983). Als Alternative bietet sich eine Reduktion der Wildbestände an. Dies sollte vor allem dort geschehen, wo Ansprüche an den Wald bestehen, welche durch das Vorkommen von hohen Wilddichten nicht erfüllt werden können. Dabei sollte der Zustand der Waldverjüngung bei der Bestimmung der Abschussplanung mitberücksichtigt werden. Im Vorarlberg wird diese Methode seit geraumer Zeit angewendet (Reimoser 1991). Als Grundlage dafür sind zuerst noch entscheidende Fragen zu beantworten. So zum Beispiel ab welcher Grösse eine Wilddichte für den Wald tragbar ist. Auch über die Entwicklung und die nachhaltige Schutzfähigkeit eines durch Wild beeinflussten Waldes fehlen langzeitige Untersuchungen über mehrere Sukzessionszyklen.

Inwieweit sich durch Wild beeinflusste und unbeeinflusste Entwicklungen auf einen späteren Zeitpunkt auswirken, ist unklar. Deshalb wäre es von grosser Wichtigkeit die Beobachtungen weiter zu führen. Es existieren nur wenige Untersuchungen über einen längeren Zeitraum, also über die Jungwaldstufe hinaus. Schlussendlich ist die Frage entscheidend, welcher Baum oder welche Art sich in welcher Zeit durchzusetzen vermag.

Die Wald-Wild-Wechselbeziehungen spielen sich auf mehreren Ebenen ab. Sowohl das Wild als auch der Wald sind geprägt durch zeitlich und räumlich variierende Entwicklungen (Senn 2000, Bugmann und Weisberg 2003). Zudem sind die Interaktionen bezüglich Langlebigkeit der Bäume über längerfristige Zeiträume zu betrachten (Bugmann und Weisberg 2003). Folglich stellt sich die Frage inwieweit das Wild langfristige Entwicklungen und Sukzessionen beeinflussen oder beeinträchtigen kann. Risch (2004) stellt z.B. fest, dass das Wild im Nationalpark die Sukzession von einem Bergföhrenwald zu einem Arvenwald nicht verhindern kann. Ansonsten fehlen Untersuchungen über den Einfluss von Wild auf solche Entwicklungen weitgehend.

Klar ist, dass in der heutigen Zeit, in welcher der Alpenraum stark besiedelt ist, die Schutzwälder eine zentrale Rolle innehaben. Dies erlaubt keine Spekulationen rund um den Einfluss des Wildes auf die Schutzfunktion der Gebirgswälder und somit sind Untersuchungen zur Wechselwirkung von Wald und Wild im Gebirgswald auch in Zukunft von grosser Bedeutung.

## **Dank**

Die vorliegende Diplomarbeit ist an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) unter der Leitung von Prof. Dr. Harald Bugmann (Assistenzprofessur Gebirgswaldökologie) und der Betreuung von Dr. Werner Suter (WSL) entstanden. Ihnen beiden gebührt ein ganz herzliches Dankeschön. Sie ermöglichten mir diese Arbeit und verstanden es mit ihrem Wissen und ihrer Erfahrung mich zu unterstützen.

Nicht zu Stande gekommen wäre diese Arbeit ohne die Daten des Kontrollzaunprojektes des Amtes für Wald Graubünden. Die zuständigen Personen Dr. Ueli Bühler und Andrea Kaltenbrunner stellten für mich kompetente Ansprechpartner dar und konnten mir viele wertvolle Hinweise liefern.

Dem gesamten WWK-Team möchte ich mich für die vielen kleinen, aber nicht minder wertvollen Tipps bedanken.

Bei meinem Kollegen Patrick bedanke ich mich für die Durchsicht des Manuskripts.

Nicht zuletzt geht mein ganz spezieller Dank an meine Eltern, welche mir dieses Studium ermöglichten und mich während der ganzen Zeit unterstützten. Dies gilt auch für meine Freundin Ladina, welche es ausserdem verstand meine Gedanken von der Arbeit abzulenken und mir dadurch die nötige Abwechslung zu bieten.

## Literaturverzeichnis

- AMMER, U. (1990): Auswirkungen des Bestockungswandels und der Waldschäden auf die Schutzfunktion des Bergwaldes gegenüber Schneebewegungen. In: Beiheft zum Forstwissenschaftlichen Centralblatt; Heft 40. Herausgegeben von der Kommission für Ökologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Parey Verlag. S. 102-111.
- AMMER, CHR. (1996a): Konkurrenz um Licht- zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald; forstliche Forschungsberichte 158; Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. S. 198.
- AMMER, CHR. (1996b): Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps. *For. Ecol. Manage.* 88, 43-53.
- BENZ, G., ZUBER, M. (1996): Die wichtigsten Forstinsekten der Schweiz und des angrenzenden Auslandes; 2. Auflage. v/dlf Hochschulverlag AG. ETH Zürich
- BRANG, P. (1996): Experimentelle Untersuchung zur Ansamungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. *Beiheft Schweiz. Z. Forstwes.* 77.
- BRASSEL, P., BRÄNDLI, U.-B. (1999): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Verlag Paul Haupt. Bern. S. 442.
- BRÄNDLI, U.B. (1995): Zur Verjüngungs- und Wildschadenssituation im Gebirgswald der Schweiz. Regionale Ergebnisse der ersten Landesforstinventars (LFI), 1983-1985. *Schweiz. Z. Forstwes.* 146: (1995)5: 355-378.
- BREITENMOSE, U. (1998): Large predators in the alps: the fall and rise of man's competitors. *Biological Conservation* 83: 279-289.
- BRYANT, J.P., PROVENZA, F. D., PASTOR, J., REICHARDT, P. B., CLAUSEN, T.P., TOIT, J. T DU (1991): Interactions between woody plants and browsing mammals mediated by secondary metabolites. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 22: 431-446.
- BUGMANN, H. (2003): Gebirgswaldökologie. Skript zur Vorlesung. 3. überarbeitete Auflage. S. 98.
- BUGMANN, H., WEISBERG, P. (2003): Forest- ungulate interactions: monitoring, modeling and management. *Urban und Fischer Verlag. J. Nat. Conserv.* 10, 193-201.
- BÜHL, A., ZÖFEL, P. (1998): SPSS für Windows Version 7.5; Praxisorientierte Einführung in die moderne Datenanalyse. 4. überarbeitete Auflage. Addison-Wesley Verlag. S. 669.
- BURSCHEL, P. (1975): Schalenwildbestände und Leistungsfähigkeit des Waldes als Problem der Forst- und Holzwirtschaft aus der Sicht des Waldbaues. *Allg. Forstzeitschrift* 30/11.
- BURSCHEL, P., BINDER, F., EL KATEB, H., MOSANDL, R. (1990): Erkenntnisse der Walderneuerung in den Bayerischen Alpen. In: Beiheft zum Forstwissenschaftlichen Centralblatt; Heft 40. Herausgegeben von der Kommission für Ökologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Parey Verlag. S. 40-49.
- EIBERLE, K., NIGG, H. (1983): Über die Folgen des Wildverbisses an Fichte und Weisstanne in montaner Lage. *Schweiz. Z. Forstwes.* 134 (5), 361-372.
- EIBERLE, K., NIGG, H. (1987): Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gebirgswald. *Schweiz. Z. Forstwes.* 138 (9), 747-785.
- FEUERSTEIN, G. C., (1997): Analyse von Stammverletzungen durch den Albensteinbock (*Capra ibex*) in einem subalpinen Lärchen- Arvenwald. Diplomarbeit. ETH Zürich. S.
- FREHNER, M., FREY, H.U., (1991): Projekt Kontrollzäune. Für das Forstinspektorat Graubünden, Chur. 30 S.

- GILL, R.M.A. (1992 a): A review of damage by mammals in Northern temperate forests: 1. Deer. *Forestry*, 65: 145-169.
- GILL, R.M.A. (1992 b): A review of damage by mammals in Northern temperate forests: 3. Impact on trees and forests. *Forestry*, 65: 363-388.
- GOSSOW, H., REIMOSER, F. (1985): Anmerkungen zum Zielkonflikt Wald-Wild-Weide-Tourismus. *Schweiz. Z. Forstwes.* 136, 913-930.
- GUTHÖRL, V. (1994): Zusammenhänge zwischen der Populationsdichte des Rehwildes (*Capreolus capreolus*) und dem Verbissdruck auf die Waldvegetation. *Zeitschrift für Jagdwissenschaften* 2, Bd. 40, S. 122-136.
- HEISIG, J., THOMASUS, H. (1968): Studie über den Einfluss von Lichtverhältnissen im Bestand sowie der Höhenlage auf die Verjüngungsfreudigkeit der Fichte. *Arch. Forstwes.*, 17: 1173-1184.
- HOLENSTEIN, B. (1993): Rehwildschadenbeobachtung Kanton Bern 1982-1992. Wald/Wild-Ausschuss des Kantons Bern. S. 27.
- HUNTLY, N. (1991): Herbivores and the dynamics of communities and ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 22: 477-503.
- JANSSEN, J., LATZ, W. (1998): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows; Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem Version 8.0 und das Modul Exakte Tests. Dritte Auflage. Springer-Verlag. S. 692.
- JENNY, H., MÜLLER, P. (2002): Phänomen Bündner Jagd; 125 Jahre Bündner Patentjagd. Amt für Jagd und Fischerei Graubünden. S. 56.
- KECH, G. (1993): Beziehung zwischen Rehdichte, Verbiss und Entwicklung der Verjüngung in einem gegatterten Fichtenforst als Basis einer walddgerechten Rehwildbewirtschaftung. Diss. Forstwissenschaftliche Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg i. Br. S. 148.
- KÖNIG, E. (1976): Wildschadensprobleme bei der Waldverjüngung. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 127: 40-57.
- KORPERL, S. (1995): Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York. S. 310.
- KREILIGER, M. (1993): Projekt Kontrollzäune. Methodik. Für das Forstinspektorat Graubünden, Chur. S. 6.
- KREILIGER M., (1999): Verjüngungskennzahlen aus dem Kontrollzaunprojekt Graubünden. Typoskript, 7 S.
- KRÜSI, B. (1996): Was bedeuten Huftiere für den Lebensraum Nationalpark? *Cratschla* 4, 2: 14-25.
- KURTH, A., WEIDMANN, A., THOMMEN, F. (1960): Beiträge zur Kenntnis der Waldverhältnisse im Schweizerischen Nationalpark. *Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes., Mitt.*, 36, 4: 221-378.
- LISS, B.-M. (1989): Der Einfluss von Weide und Wild auf die natürliche und künstliche Verjüngung im Bergmischwald der Ostbayerischen Alpen. *Forstwiss. Cbl.* 107, 14-25.
- LÖW, H. (1975): Zustand und Entwicklungsdynamik der Hochlagenwälder des Werdenfelser Landes. Diss. Forstwissenschaftl. Fakultät d. Ludwig-Maximilians-Universität München. S. 200.
- LÜSCHER, F. (1990): Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtenverjüngung im inneralpinen Gebirgswald; Dissertation, ETH Zürich. S. 83.

- MARTIN, S. (2003): Moderholzverjüngung im Waldreservat Scatlè. Diplomarbeit am Departement Forstwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich. S. 77.
- MARGL, H., MEISTER, K., (1977): Vegetation inner- und ausserhalb von Wildschutzzäunen. In: Beiträgen zu Fragen der Wildstandbewirtschaftung. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien 122, 85-96.
- MAYER, H. (1967): Das Fichten-Naturwaldreservat Rauterriegel am Eisenhut bei Turrach. Cbl. Ges. Forstwesen, 84: 279-307.
- MAYER, H., OTT, E., (1991): Gebirgswaldbau- Schutzwaldpflege: ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz, 2. Auflage Gustav Fischer Verlag; Stuttgart; S. 587.
- MOTTA, R. (2003): Ungulate impact on rowan (*Sorbus aucuparia*) and Norway spruce (*Picea abies*) height structure in mountain forests in the eastern Italian Alps. For. Ecol. Manage. 181 (2003) 139-150.
- NÄSCHER, F. A. (1979): Zur waldbaulichen Bedeutung des Rothirschverbisses in der Waldgesellschaft des subalpinen Fichtenwaldes in der Umgebung des Schweizerischen Nationalparks. Beih. Z. Schweiz. Forstver., 63.
- ONDERSCHEKA, K., REIMOSER, F., VÖLK, F., TATARUCH, F., STEINECK, T., VAVRA, I., ZANDL, J. (1990): Integrale Schalenwildhege im Rätikon (Herrschaft-Prättigau/ Graubünden) unter besonderer Berücksichtigung der Walderhaltung; Grundlagenstudie. Wien. S. 366.
- OTT, E., FREHNER, M., FREY, H. U., LÜSCHER, P. (1997): Gebirgsnadelwälder; Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt. Bern, Stuttgart, Wien. S. 286.
- OTTO, H.-J. (1994): Waldökologie. Ulmer Verlag. S. 391.
- PERKO, F. (1980): Methoden und erste Quantifizierung des Einflusses von Schalenwild auf die Waldvegetation. Proc. Wald-Wild, Vet. Med. Univ. Wien. Forschungsinstitut für Wildtierkunde, 111-161.
- Perko, F. (1983): Bestimmung des höchstzulässigen Verbissgrades am Jungwuchs. Schweiz. Z. Forstwes. 134, 179-189.
- PRIEN, S. (1997): Wildschäden im Wald; ökologische Grundlagen und integrierte Schutzmassnahmen. Parey Buchverlag Berlin. S. 257.
- PUTMAN, R. J. (1986): Grazing in temperate ecosystems: Large herbivores and the ecology of the New Forests. London, Sydney. Croamhelm. IX. 210 S.
- REIMOSER F. (1982): Rehwildbejagung in einem deckungsreichen Gebirgsrevier bei waldbaulicher Betriebsumstellung. Cbl. Ges. Forstwes. 99/3, 157-170.
- REIMOSER, F. (1990): Richtlinien für das Wildschaden-Kontrollsystem im Bundesland Vorarlberg. Amt der Vorarlberger Regierung
- REIMOSER, F. (1991): Verbiss-Kontrollgatter- Eine Methode zur objektiveren Erfassung des Einflusses von Schalenwild und Weidevieh auf die Waldverjüngung (System Vorarlberg). Österr. Weidwerk, H. 7, 37-39.
- REIMOSER, F., SUCHANT, R. (1992): Kontrollzäune in Mitteleuropa; Zur Feststellung des Einflusses von Schalenwild auf die Waldvegetation. Bündnerwald 1992:3.
- RISCH, A. C. (2004): Above- and belowground patterns and processes following land use change in subalpine conifer forests of the Central European Alps; Dissertation; ETH Zürich; S. 171.

- RISENHOOVER, K.L. UND MAASS, S.A. (1987): The influence of moose on the composition and structure of Isle Royal forests. *Can. J. For. Res.*, 17: 357-364.
- ROTH, R. (1995): Der Einfluss des Rehwildes (*Capreolus capreolus*) auf die Naturverjüngung von Mischwäldern. Mitt. D. Forstl. Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Heft 191. S. 117.
- RÜEGG, D. (1999): Erhebung über die Verjüngung in Gebirgswäldern und den Einfluss von freilebenden Paarhufern als Grundlage für die forstliche und jagdliche Planung. Dissertation. ETH. Zürich.
- SCHÖNENBERGER, W., FREY, W., LEUENBERGER, F. (1990): Ökologie und Technik der Aufforstung im Gebirge; Anregungen für die Praxis. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Berichte Nr. 325.
- SCHREYER G. UND RAUSCH V. (1977): Der Schutzwald in der Bergregion Miesbach. *Forstw. Cbl.*, 96: 100-108.
- SCHÜTZ, M., RISCH, A. C., LEUZINGER, E., KRÜSI, B., ACHERMANN G. (2003): Impact of herbivory by red deer (*Cervus elaphus* L.) on patterns and processes in subalpine grasslands in the Swiss National Park. *For. Ecol. Manage.* 181 (2003) 177-188.
- SCHÜTZ, J. PH. (2000a): Die Technik der Waldverjüngung von Wäldern mit Ablösung der Generationen. Skript zur Vorlesung Waldbau II. ETH Zürich; S. 121.
- SCHÜTZ, J. PH. (2000b): Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung. Skript zur Vorlesung Waldbau I. ETH Zürich; S. 216.
- SENN, J. (2000): Huftiere und Verjüngung im Gebirgswald: eine Geschichte mit vielen Variablen und noch mehr Interaktionen. *Schweiz. Z. Forstw.* 151, 99-106.
- SENN, J., SUTER, W. (2003): Ungulate browsing on silver fir (*Abies alba*) in the Swiss Alps: beliefs in search of supporting data. *For. Ecol. Manage.* 181 (2003) 151-164.
- STADLER, M., ODERMATT, O., GALLMANN, C., RÜEGG, D., ZEHNDER, U. (1999): Einfluss freilebender Wiederkäuer auf die Verjüngung des Schweizer Waldes. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150: (1999)9: 313-326.
- STAHEL, W. A. (2002): Statistische Datenanalyse ; Eine Einführung für Naturwissenschaftler. 4. Auflage. Vieweg-Verlag. 378 S.
- STÖCKLI, B. (1995): Moderholz für die Naturverjüngung im Bergwald: Anleitung zum Moderanbau; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft; Birmensdorf. 8 S.
- VOSER, P. (1987): Einflüsse hoher Rothirschbestände auf die Vegetation im Unterengadin um im Münstertal, Kanton Graubünden. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark. Herausgegeben von der Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zur wissenschaftlichen Erforschung des Nationalparks. Band XVI/ 82. S. 220.
- WEINER, J. (1986): How competition for light and nutrients affects size variability in *Ipomea tricolor* populations. *Ecology*, 67:1425-1427.
- ZEHNDER, U., (1999): Wildkundliche und jagdliche Veränderungen in den letzten 25 Jahren, dargestellt anhand von Jagdstatistiken. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150: (1999)9: 335-341.
- ZIERL, H. (1972): Der Hochwald: Untersuchungen über die Fichtenbestände in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. *Forstwissen. Cbl.*, Beiheft S.33:80.
- ZINGGELER, J., SCHWYZER, A., DUC, P. (1999): Waldverjüngung. In: Brassel, P. & Brändli, (Red.): 152-183.

**Anhang A: Tabellarische Übersicht der vorhandenen Daten**

<b>LokalitätBedeutung</b>		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Baumart (ArtKurz)		
Bedeutung (ArtBedeutung)	Zahl	1) Hauptbaumart 2) Mischbaumart 3) Nebenbaumart

<b>Lokalität</b>		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Gebiet	Zahl	Nummer
Waldregion	Zahl	1-6
Forstkreis	Zahl	Nummer
Gemeinde		Name
Lokalname		Name
Einrichtung Jahr	a	Monat/Jahr
Jagdbezirk	Zahl	Nummer
Grösse	M	Länge/Breite
Koordinaten	m	x/y
Höhenstufe	Zahl	1) collin 2) submontan 3) untermontan 4) obermontan 5) hochmontan Ta/Fi 6) hochmontan Fi 7) subalpin 8) obersubalpin
Höhe über Meer	müM	Zaun/Vergleichsfläche
Tektonik (TektForm)		Name
Chemismus (GesteinChem)	Zahl	1) basisch 2) kristallin 3) gemischt
Gesteine		Name
Morphologie	Zahl	1) Fels 2) Hangschutt 3) Bachschutt 4) Moräne 5) Andere
Waldgesellschaft GR	Zahl	Schlüssel GR
Waldgesellschaft (Ott et al. (1997))	Zahl	Nach Ellenberg u. Klötzli
Starker Verbiss(VerbissStark)	Ja/Nein	
Kaum Verjüngung (VerjüngungKaum)		
Waldbauliche Unsicherheit (Waldbauunsicherheit)		
Hoher Wildbestand (WildbestandHoch)		
Hangneigung	Zahl	1) 0-3% 2) 3-9% 3) 9-17% 4) 17-36% 5) 36-58% 6) 58-100% 7) >100% Z/U
Exposition		Nord-Ost-Süd-West Z/U

Relief	Zahl	1) konvex 2) intermediär 3) konkav G/U
Bodentyp	Zahl	LokalformNr G/U
Einheit (AufnahmeEinheit)	Zahl	Bodeneignungskarte Nr. G/U
Skelett	Zahl	1) Blöcke 2) Schutt >5cm 3) Schutt 1-5cm 4) Schutt <1cm G/U
Motivation		Bemerkungen
Repräsentativität	Zahl	1) repräsentativ 2) nicht repräsentativ 3) inhomogene Umgebung
Bodenerosion	Zahl	Unterteilt nach Ansamung, Anwuchs, Aufwuchs 1) Unbedeutend 2) Bedeutend 3) Kritisch 4) nicht beurteilt
Trockenheit		
Wechsell Trockenheit		
Kälte		
Wind		
Schneeloch		
Schneegleiten		
Einstrahlung		
Streuauflage		
Verdämmende Veg.		
Limitierter Wurzelraum		
Vernässung		
Andere		

**Altbestand**

	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Baumart (ArtKurz)		Name
Anteil	%	
Samenbaum (SamBaum)	Zahl	1) keine 2) einzelne 3) viele
SamDist	m	
Vollmast/Sprengmast		Nur auf wenigen Flächen

**Aufnahme**

	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Datum (DatumAufnahme)	Zahl	1./2./(3.) Aufnahme
Bestandestyp (BestandTyp)	Zahl	1) Jungwuchs/Dickung 2) Stangenholz 3) Schwaches Baumholz 4) Mittleres Baumholz 5) Starkholz o. Verj. geschlossen 6) Starkholz o. Verj. locker 7) Starkholz m. Verj.geschlossen 8) Starkholz m. Verj. locker
Schlussgrad	Zahl	1) gedrängt 2) normal locker 3) räumig, aufgelöst

Gefüge vertikal	Zahl	1) einschichtig 2) mehrschichtig 3) stufig 4) rottenartig
Gefüge horizontal	Zahl	1) einzeln 2) gruppiert 3) rottenartig
Verjüngungsdringlichkeit (VerjDring)	Zahl	1) obligatorisch 2) notwendig 3) erwünscht
Verjüngungsdringlichkeit (VerjZeit)	Jahr	
Bemerkungen zu Verj.dringl.		
Verjüngungsprognose (Verj.Prog)		Text
SchlagJahr	Jahr	
Schlagtyp	Zahl	1) nicht bekannt 2) Hochdurchforstung 3) Niederdurchforstung 4) Gruppenplenterung 5) Einzel-Plenterung 6) Plünderschlag 7) Zwangsnutzung (Käfer) 8) Windwurf 9) Schneedruck 10) Waldbrand
Bemerkung Schlag (SchlagBem)		Text
<b>Waldfunktion</b>		
BSF	Ja/Nein	
Reservat		
Freizeit Sommer (ErholSom)		
Freizeit Winter (ErholWin)		
Weide		
Weide bis Jahr (WeideAus)	Jahr	
<b>Verjüngungsgunst Boden</b>		
Ansamung (BodenAns)	Zahl	1) günstig 2) ungünstig 3) indifferent
Aufwuchs (BodenAuf)		
<b>Verjüngungsgunst Vegetation</b>		
Ansamung	Zahl	1) günstig 2) ungünstig 3) indifferent
Anwuchs		
Aufwuchs		
<b>Verjüngungsgünstige Kleinstandorte</b>		
Moderholz	Zahl	1) kein 2) wenig 3) reichlich
Rohboden		
andere		
Verjüngungsrelevante Arten (Veg.) (RelArten)		Name
Bemerkungen		Text

<b>Wild</b>		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
<b>Einschätzung der Wildverhältnisse durch Wildhut</b>		
<i>Vorkommen Sommer/Winter</i>		
Hirsch (Hirsch So/Wi)	Zahl	0) kaum vorhanden
Reh (Reh So/Wi)		1) =1,0 (geringes Vorkommen)
Gämse (Gämse So/Wi)		2) =1,5
Steinbock (Steinbock So/Wi)		3) =2,0 (mittleres Vorkommen)
		4) =2,5
		5) =3,0 (grosses Vorkommen)
<b>Entfernung zu...</b>		
Waldrand/Dickung	m	
Störungsquellen		
Wildschutzgebiet		
Futterstelle		
Bemerkungen		Text; ausführlich

<b>Jungwald</b>		
Für Höhenklassen V0,V1a,V1b,V2,V3,V4,V5		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Zaun	Ja/Nein	
Baumart (ArtKurz)		Name
Pflanzung	Ja/Nein	
Anzahl (je Höhenklasse)		
Abbruch (je Höhenklasse)	m2	Abbruch wenn (mind. 30 Exemplare pro Höhenklasse und Baumart)
Verbiss (je Höhenklasse)	Anzahl	
Trennung V3/V4	Ja/Nein	

<b>Vegetationsdecke</b>		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Zaun	Ja/Nein	
VegArtNr		
Deckungswert		r) 1-2 Individuen mit verminderter Vitalität +) bis 10 Einzelpflanzen einer Art 1) >10 Individuen, <5% Deckung 2m) <5% Deckung, aber viele Einzelpflanzen 2-) 5-15% Deckung 2+) 15-25% Deckung 3) 25-50% Deckung 4) 50-75% Deckung 5) 75-100% Deckung

<b>Fläche</b>		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Zaun	Ja/Nein	
Humusform (HumusForm)	Zahl	1) Rohhumus 2) Moder 3) Mull 4) Mineralerde
Ausprägung Humusform	Zahl	1) Hydro-Form 2) Xero-Form
Biologische Aktivität (BioAktivität)	Zahl	1) gut 2) mässig 3) keine
Sonne6 (Juni)	h	
Sonne7 (Juli/Mai)		
Sonne8 (August/April)		
Sonne9 (September/März)		
Sonne10 (Oktober/Februar)		
Sonne11 (November/Januar)		
Sonne12 (Dezember)		
<b>Eingriffe auf den Vergleichsflächen</b>		
Ausmähen	Jahr	Baumarten
Einzelerschutz		
Pflanzung		
Bemerkung		

<b>Einzelbaum</b>		
	<i>Einheit</i>	<i>Bemerkung</i>
Zaun	Ja/Nein	
Baumart (ArtKurz)		Name
Pflanzung	Ja/Nein	
Baumnummer	Zahl	Nach Baumart und Fläche, beginnend bei 1
Baumstatus	Zahl	1) lebend 2) abgestorben 3) totverbissen 4) nicht gefunden
Alter	Jahr	
Länge Leittrieb (LängeTerm)	cm	
Höhe	cm	
Verbiss Leittrieb (VerbTerminal)	Zahl	0)kein Verbiss 1) einmal verbissen 2) mehrmals verbissen
Verbiss Sommer (SommerVerbiss)	Ja/Nein	
Verbiss Seitentriebe (VerbSeiten)		0) <50% verbissen 1) >50% verbissen
Fegen/Schälen	Ja/Nein	
Bemerkungen		Text

**Anhang B: In Auswertung eingegangene Kontrollflächen.**

Region	Lokalnr.	Stammzahl			Artenzahl			Bemerkungen
		1	2	3	1	2	3	
Prättigau		X	X	X				Bedingung 4 nicht erfüllt
	105				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	106							Bedingung 3 und 4 nicht erfüllt
	107	X	X	X	X	X	X	
	109				X	X		Bedingung 3 nicht erfüllt
	110	X	X	X				Bedingung 4 nicht erfüllt
	111	X	X	X	X	X	X	
	112	X	X	X	X	X	X	
	1901	X	X		X	X		
	1902				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	1903							Bedingung 3 und 4 nicht erfüllt
	1904	X	X	X				Bedingung 4 nicht erfüllt
	2001							Bedingung 3 und 4 nicht erfüllt
	2002	X	X	X				Bedingung 4 nicht erfüllt
	2005	X	X	X	X	X	X	
	2006	X	X	X	X	X	X	
	2007	X	X	X	X	X	X	
	2008	X	X	X	X	X	X	
	2104	X	X	X	X	X	X	
	2106				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	2107				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	2108				X	X		Bedingung 3 nicht erfüllt
	2110	X	X	X	X	X	X	
	2111	X	X	X	X	X	X	
	2112							Bedingung 2 nicht erfüllt
	2113	X	X	X	X	X	X	
	2114	X	X	X	X	X	X	
	2115	X	X	X	X	X	X	
2116	X	X		X	X			
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	
Surselva	501				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	502	X	X	X	X	X	X	
	503	X	X		X	X		
	504				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	505	X	X	X	X	X	X	
	506	X	X	X	X	X	X	
	507				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	508				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	509	X	X	X	X	X	X	
	510	X	X	X	X	X	X	
	801				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	802				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	803	X	X	X	X	X	X	
	804	X	X					Bedingung 4 nicht erfüllt
	805	X	X	X	X	X	X	

	806				X	X	X	Bedingung 3 nicht erfüllt
	807	X	X	X	X	X	X	
	808	X	X	X	X	X	X	
	809	X	X		X	X		
	810	X	X	X	X	X	X	
	811	X	X		X	X		
	812	X	X	X	X	X	X	
	813	X	X	X	X	X	X	
	814	X	X	X	X	X	X	
	815	X	X	X	X	X	X	
	816							Flächen wurden geschürft
	817	X	X	X	X	X	X	
	818							Bedingung 3 und 4 nicht erfüllt
	819	X	X	X	X	X	X	
	1001	X	X	X	X	X	X	
	1002	X	X	X	X	X	X	
	1003	X	X		X	X		
	1004	X	X		X	X		
	1005	X	X		X	X		
	1006	X	X		X	X		
	1007	X	X		X	X		
	1101	X	X	X	X	X	X	
	1102	X	X		X	X		
	1103	X	X		X	X		
	1104	X	X	X	X	X	X	
	1105	X	X	X	X	X	X	
	1106	X	X	X	X	X	X	
	1107	X	X		X	X		
	1108	X	X		X	X		
	1109				X	X		Bedingung 3 nicht erfüllt
	1110	X	X		X	X		
	1111	X	X		X	X		
	5002	X	X		X	X		
	5003	X	X		X	X		
	5004							Bedingung 2 und 4 nicht erfüllt
	5005	X	X		X	X		
	5006				X	X		Bedingung 3 nicht erfüllt
	5007	X	X		X	X		
	5111	X	X		X	X		
	5112	X	X		X	X		
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>22</b>	<b>51</b>	<b>51</b>	<b>29</b>	

Untereingadin	2403	X	X		X	X		
	2406	X	X		X	X		
	2407							Bedingung 2 nicht erfüllt
	2408	X	X		X	X		
	2501	X	X	X	X	X	X	
	2502	X	X	X	X	X	X	
	2503	X	X	X	X	X	X	
	2504	X	X	X	X	X	X	
	2505				X	X		Bedingung 3 nicht erfüllt
	2506							Bedingung 2 nicht erfüllt
	2705	X	X		X	X		
	2706	X	X		X	X		
	2707	X	X		X	X		
	2708	X	X		X	X		
	2803							Bedingung 2 nicht erfüllt; Flächen geschürft
	2804	X	X		X	X		
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	
Nationalpark	9004	X		X	X		X	
	9005	X		X	X		X	
	9008							Bedingung 2 nicht erfüllt
	9009				X		X	Bedingung 2 nicht erfüllt
	9011	X		X	X		X	
	9012							Bedingung 2 nicht erfüllt
	9015	X		X	X		X	
	9016	X		X	X		X	
	9019	X		X	X		X	
	9020	X		X	X		X	
	9024	X		X	X		X	
	9026							Bedingung 2 nicht erfüllt
	9027	X		X	X		X	
9028							Bedingung 2 nicht erfüllt	
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	