

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 161 (2010)

**Heft:** 1

**Artikel:** Schutzwälder der Nördlichen Kalkalpen : Verjüngung, Mikroklima, Schneedecke und Schalenwild

**Autor:** Prietzel, Jörg

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097751>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 05.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Schutzwälder der Nördlichen Kalkalpen: Verjüngung, Mikroklima, Schneedecke und Schalenwild

Jörg Prietzel | Lehrstuhl für Bodenkunde, Technische Universität München (DE)\*

## Protection forests in the Northern Limestone Alps: stand regeneration, microclimate, snow cover and ungulates

Relationships among ungulate pressure, stand regeneration, microclimate, and snowpack dynamics were investigated at three protection forest sites in the mixed mountain forest zone of the Bavarian Limestone Alps. The study was conducted at plots located inside and outside ungulate exclosures which had been established about 35 years ago. Air and topsoil temperatures were recorded for one year in hourly intervals. In winter 2005/2006, the thickness, constitution, and mobility of the snowpack were investigated. Inside the exclosures, which were stocked with dense regeneration of mixed mountain forest, mean air and topsoil temperatures were up to 0.9 °C (air) and 1.9 °C (soils) lower than outside. Maximum daily values of air and topsoil temperatures were up to 1.4 °C (air) and 5.2 °C (soils) lower inside the exclosures compared to the respective outside plots. The temperature differences were dependent on the aspect (NW < ESE < S). Snowpack thickness during winter increased more slowly inside the exclosures than outside due to snow interception by the young trees which had developed during stand regeneration; in late winter, snowpack melting was retarded. Inside the exclosures the snowpack was more heterogeneous ("column structure") than outside (laminated structure). Consequently, inside the exclosures a large portion of the melting water drained vertically to the bottom of the snowpack and infiltrated into the soil, and the snow gliding activity was significantly smaller than outside. In summary, particularly at S-exposed sites, exclosure of ungulates resulted in a cooler, less extreme microclimate, a more heterogeneous and stable snowpack, and reduced snow gliding. Therefore, an adequate regulation of ungulate density by appropriate hunting activity is a key factor for a sustainable provision of important protection services of the mixed mountain forest in the Northern Limestone Alps.

**Keywords:** mixed mountain forest, ungulate pressure, stand regeneration, microclimate, soil temperature, snow gliding

**doi:** 10.3188/szf.2010.0012

\* Am Hochanger 2, DE-85354 Freising, E-Mail prietzel@wzw.tum.de

Die Schutzfunktion (Schutz vor Bodenerosion, Steinschlag, Lawinen, Murgängen, Hochwasser etc.) ist eine zentrale Funktion vieler Gebirgswälder der Alpen. Die Sicherung beziehungsweise Wiederherstellung einer optimalen Vitalität der Schutzwälder zur Maximierung ihrer Widerstandskraft gegenüber und ihres Reaktionsvermögens nach Veränderungen sind angesichts des Klimawandels eine Aufgabe von höchster Priorität (Rigling et al 2008, Brang et al 2008). Insbesondere auf flachgründigen Dolomitstandorten der Nördlichen Kalkalpen ist der Zustand der Schutzwälder gegenwärtig oft unbefriedigend. Die Bestände weisen auf grosser Fläche geringe Bestockungsgrade und eine unausgewogene Alters- und Baumartenstruktur auf; es dominieren hohe Altersklassen, und der Fichtenanteil an der Bestockung ist zu gross (Meister 1969a

und 1969b, Bernhart & Knott 1986). Zudem ist die Vitalität der Bäume oftmals gering (Ewald 2005). Vor allem auf flachgründigen Humuscarbonatböden ist die Wasser- und Nährstoffversorgung der Bäume meist mangelhaft (z.B. Baier 2004, Ewald 2005, Prietzel & Ammer 2008). Verschärft wurden die ungünstigen Standortverhältnisse durch Übernutzung der Bestände (Meister 1969a) und vielerorts übermässige Waldweide (Laatsch 1974). Schliesslich trugen auch die seit Mitte des 19. Jahrhunderts überhöhten Schalenwildbestände massgeblich zur Entmischung, Überalterung, Auflichtung und Vergrasung des Bergwalds in den Bayerischen Kalkalpen bei (Meister 1969a, 1969b, Bernhart & Knott 1986). Hierbei spielte die Störung der Bestandesverjüngung durch selektiven Verbiss eine Schlüsselrolle (Meister 1969a, Burschel 1975, Ammer 1996). Historische Waldweide-

rechte sind mittlerweile in den Bayerischen Alpen weitgehend abgelöst sowie unpflegliche Waldnutzungs- und Holzernteverfahren eingestellt. Untersuchungen von Prietzel & Ammer (2008) zeigten jedoch, dass vielerorts überhöhte Schalenwildbestände eine Erholung der degradierten Standorte verhindert haben. Als Schlüsselfaktoren wurden von diesen Autoren unter anderem ein ungünstiges, Humuschwund förderndes Mikroklima sowie Bodenerosion durch Schneegleitprozesse in den vergrasteten, durch Schalenwild in ihrer Verjüngungsdynamik beeinträchtigten Beständen vermutet. Anhand von drei Fallbeispielen sollen Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Schalenwildbelastung, Verjüngungsentwicklung und Mikroklima sowie Mächtigkeit, Aufbau und Dynamik der winterlichen Schneedecke im montanen Bergmischwald der Bayerischen Kalkalpen gesucht werden.

## Material und Methoden

### Untersuchungsstandorte

Die natürliche Waldgesellschaft der Untersuchungsstandorte bilden mässig trockene bis mässig frische Carbonat-Bergmischwälder (Aposerido-Fagetum) der Montanstufe. An allen Waldorten ist der 100- bis 300-jährige Altbestand, bestehend aus Fichte (*Picea abies*), Buche (*Fagus sylvatica*), Tanne (*Abies alba*), Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Mehlbeere (*Sorbus aria*) sowie einzelnen Eiben (*Taxus baccata*), stark aufgelichtet und vergrast. Alle Waldorte wiesen in den letzten Jahrzehnten durchgehend hohe Schalenwildichten (Hirsch, *Cervus elaphus* L.; Gämse, *Rupicapra rupicapra* L.; Reh, *Capreolus capreolus* L.) auf. Sie waren allerdings unterschiedlich lange mit Waldweiderechten belastet (Guggenauer Köpfl bis 1985; Hinterlapberg bis 1990; Reitsteig bis heute); ausserdem unterscheiden sie sich in Exposition, Höhenlage und Wasserhaushalt.

An allen Waldorten wurden zwei nebeneinander liegende rechteckige Parzellen (10 m × 22 m) eingemessen. Eine Parzelle lag ausserhalb, die andere innerhalb eines durch Zäunung in den zurückliegenden 30 bis 40 Jahren weitestgehend vor Schalenwild-einfluss geschützten Bestandesbereichs. Die Zäu-



Abb 1 Die Waldorte Guggenauer Köpfl (links), Reitsteig (Mitte) und Hinterlapberg (rechts).

Die Studie wurde von Mai 2005 bis Ende April 2006 an drei Waldorten (Guggenauer Köpfl, Reitsteig, Hinterlapberg) durchgeführt (Abbildung 1). Das Klima aller Waldorte (Höhenlage 990–1090 m) ist durch niedrige mittlere Lufttemperaturen (ca. 5.5 °C) und hohe Jahresniederschläge (ca. 2000 mm) geprägt (Tabelle 1). Die Dauer der winterlichen Schneebedeckung beträgt 140 bis 180 Tage. Der Untersuchungszeitraum war im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt durch einen trockeneren, wärmeren Sommer und Herbst 2005 gekennzeichnet, an den sich ein aussergewöhnlich kalter, schneereicher Winter 2005/06 anschloss.

nung (Wildschutzzaun mit 2 m Höhe) erfolgte am Guggenauer Köpfl im Jahr 1965, in Hinterlapberg im Jahr 1969 und am Reitsteig im Jahr 1975. Am Reitsteig wurde der Zaun im Jahr vor Beginn der Untersuchung abgebaut; an den anderen Waldorten waren die Zäune zum Zeitpunkt der Studie noch vorhanden.

Eine Aufnahme des Altbestands und der Jungwüchse im Jahr 2004 (Prietzel & Ammer 2008) ergab für alle Parzellen eine hohe Jungwuchsdichte. Ausserhalb der Zäune war fast der gesamte Jungwuchs weniger als 50 cm hoch; innerhalb wies rund die Hälfte der Jungwuchspflanzen eine Höhe von

Tab 1 Charakterisierung der drei Waldorte.

	Guggenauer Köpfl	Reitsteig	Hinterlapberg
Bayerische Staatsforsten: Forstbetrieb, Forstdienststelle (Gemeinde)	Forstbetrieb Schliersee, Glashütte (Kreuth)	Forstbetrieb Oberammergau, Dickelschwaig (Graswang)	Forstbetrieb Schliersee, Rottach I (Kreuth)
Höhe (m ü. M.)	1090	1030	990
Lage, Exposition	Mittelhang, NW, 22°	Mittelhang, ESE, 28°	Mittelhang, S, 35°
Nächste Wetterstation mit Temperaturmessung	Bad Tölz (640 m)	Garmisch-Partenkirchen (719 m)	Bad Tölz (640 m)
Jahresmitteltemperatur 1961–1990 (°C)	7.0	6.4	7.0
Nächste Wetterstation mit Niederschlagsmessung	Kreuth-Glashütte (895m)	Ettal-Linderhof (940 m)	Kreuth-Glashütte (895 m)
Mittlerer Jahresniederschlag 1961–1990 (mm)	2051	1757	2051
Böden	Rendzina 30% Lehmrendzina 15% Rendzina/Braunerde-Terra Fusca 45% Nass/Anmoorhanggley 10%	Rendzina 40% Lehmrendzina 40% Tangelrendzina 20%	Rendzina 80% Lehmrendzina 15% Tangelrendzina 5%
Standörtliche Besonderheiten	Kühl und schneereich, stark hangwasserbeeinflusst, frisch bis sickerfeucht	Trocken bis mässig frisch, im Frühjahr lange feucht, oberflächennaher Wasserzug	Gleitschneehang, starke sommerliche Austrocknung
Jahr der Zäunung	1965	1975	1969
Waldweide	(mit Rindern) bis 1985	(extensiv mit Schafen) bis heute	(mit Rindern) bis 1990

mehr als 50 cm und ein Viertel sogar Höhen über 1.3 m auf (Abbildung 2). Dementsprechend war die oberirdische Jungwuchsbio­masse bei beträchtlicher Variation innerhalb der Flächen in den gezäunten Bestandesbereichen 375- bis 2500-mal höher als ausserhalb (Tabelle 2). An den Waldorten Reitsteig und Hinterlapberg stockten nur jeweils zwei Altbäume (Brusthöhendurchmesser [BHD] ca. 50–60 cm) auf den Versuchsparzellen, was einer Altbestandsdichte von 91 Bäumen/ha entspricht. Am Guggenauer Köpfl war die Altbestandsdichte mit fünf bis

acht Altbäumen pro Parzelle beziehungsweise 230 und 360 Altbäumen/ha deutlich höher.

#### Untersuchungsmethoden

Von Anfang Mai 2005 bis Ende April 2006 wurde auf allen Parzellen in stündlichen Intervallen die Temperatur der bodennahen Luftschicht in 1 m Höhe sowie des Oberbodens in 5 cm Tiefe mit Dataloggern (Tiny Tag; Gemini Corp.) gemessen. Des Weiteren wurde von November 2005 bis Mai 2006 in wöchentlichen beziehungsweise 14-tägigen Inter-

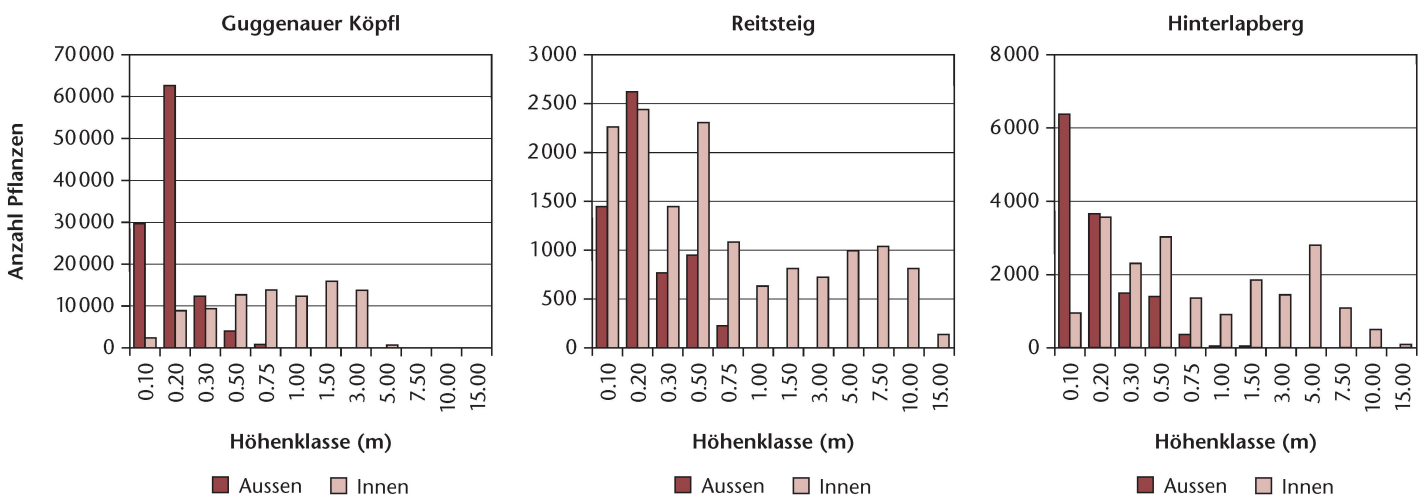


Abb 2 Höhenverteilung des Jungwuchses innerhalb und ausserhalb der Zäunungen an den Waldorten Guggenauer Köpfl (links), Reitsteig (Mitte) und Hinterlapberg (rechts).

**Tab 2** Stammzahl, Höhenverteilung und oberirdische Biomasse des Jungwuchses auf den untersuchten Parzellen (\* Tanne + Lärche). Quelle: Prietzel & Ammer 2008

	Guggenauer Köpfl		Reitsteig		Hinterlapberg	
	ausserhalb Zaun	innerhalb Zaun	ausserhalb Zaun	innerhalb Zaun	ausserhalb Zaun	innerhalb Zaun
Stammzahl (N/ha)	11 0682	90 182	6 045	16 100	13 455	18 545
davon > 0.5 m (%)	1	64	5	34	3	47
davon > 1.3 m (%)	0	23	0	27	0	28
Biomasse oberirdisch (kg/ha)	138	8831	48	18 618	15	38 670
davon Fichte (%)	3	2	23	11	6	29
davon Tanne (%)	4	14	6*	18*	0	0
davon Buche (%)	19	29	4	30	13	23
davon Ahorn, Esche, Ulme (%)	73	50	42	33	53	40
davon Mehlbeere (%)	1	5	25	8	28	8

vallen die Höhe der Schneedecke an drei Schneepegeln (10-m-Horizontaltransekt; Abstand zwischen den Pegeln 5 m) bestimmt. Ausserdem wurde in jeder Parzelle ein Schneeprofil angelegt, an dem – ebenfalls in wöchentlichen beziehungsweise 14-tägigen Intervallen – Aufbau und Dynamik (Sackungs-, Gleitprozesse) der Schneedecke erfasst wurden. Im Februar 2006 wurden auf allen Parzellen Tracer-Versuche zur Charakterisierung der Wasserflüsse in der Schneedecke durchgeführt. Dazu wurden ausgehend von der Seitenwand des Schneeprofiles im 90°-Winkel, also hangparallel, auf der Schneeoberfläche entlang einer 50 cm langen, ca. 0.5 cm breiten Linie KMnO<sub>4</sub>-Kristalle ausgebracht. Nachfolgende Schneeschmelz- oder Regenereignisse sollten zu einer Auflösung der Kristalle und zu einer Dokumentation der Bewegung des durch das KMnO<sub>4</sub> intensiv violett gefärbten Schmelzwassers durch die Schneedecke führen. In 14-tägigen Intervallen wurde die Verlagerungsfront des gelösten KMnO<sub>4</sub> an angefrischten Seitenwänden der Schneeprofile aufgenommen. Der Abstand der Messpunkte zu den Zäunen beträgt > 8 m; durch die Zäune hervorgerufene Randeffekte (Beschattung; Beeinflussung der Schneebewegung) können daher weitestgehend respektive völlig (Reit-

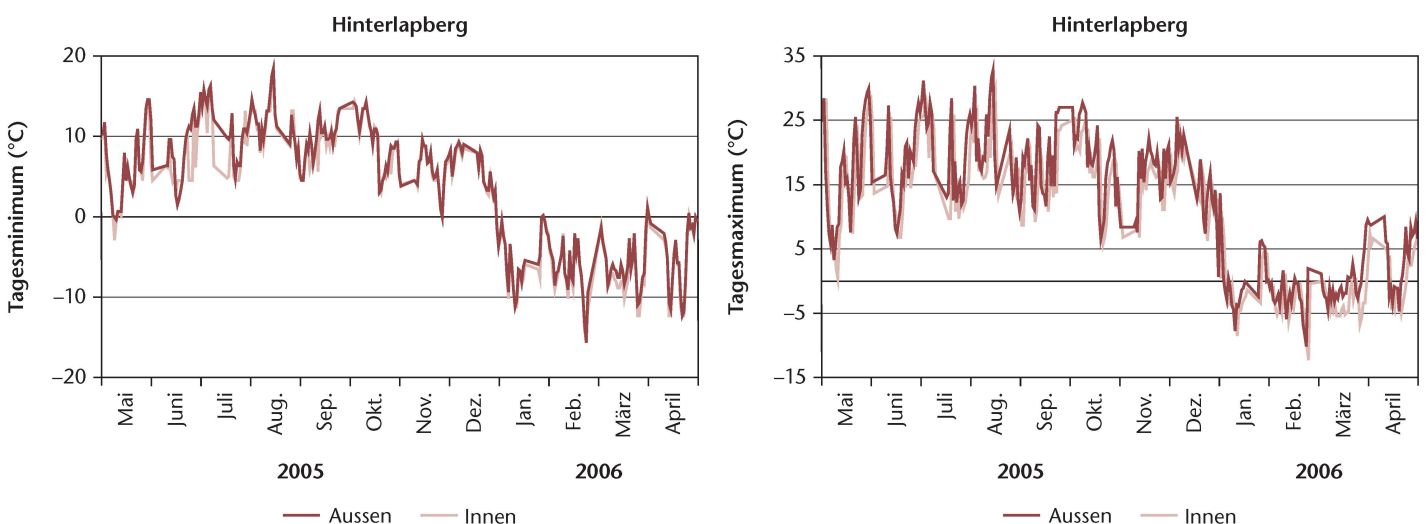
steig; hier war der Zaun im Jahr der Untersuchung abgebaut) ausgeschlossen werden.

Zur Erfassung des Schneegleitens wurden im November 2005 auf allen Parzellen entlang des 10 m langen Horizontaltransekts in 1-m-Abständen insgesamt zehn nummerierte Gleitschuhe (Konstruktion nach In der Gand 1968a) ausgebracht. Nach Ausapern der Schneedecke im folgenden Frühjahr wurden die Position sowie die senkrecht zum Hang erfolgte Verlagerung jedes Gleitschuhes erfasst.

## Ergebnisse

### Temperatur der bodennahen Luftschicht

Die mittleren Tagestemperaturen auf den ungezäunten Parzellen der drei Waldorte (Guggenauer Köpfl: 5.1 °C; Reitsteig: 6.1 °C; Hinterlapberg: 6.4 °C; Tabelle 3) spiegeln den kombinierten Effekt ihrer unterschiedlichen Höhenlage (Guggenauer Köpfl: 1090 m ü. M.; Reitsteig: 1030 m ü. M.; Hinterlapberg: 990 m ü. M.) und Exposition (Guggenauer Köpfl: NW; Reitsteig: ESE; Hinterlapberg: S) wider. Am Guggenauer Köpfl waren die mittleren Lufttemperaturen auf der ungezäunten und der gezäunten Parzelle na-



**Abb 3** Verlauf der minimalen (links) und maximalen (rechts) täglichen Lufttemperatur innerhalb und ausserhalb der Zäunung am Waldort Hinterlapberg.

	Luft			Boden		
	Mittlere tägliche Temperatur (°C)	Mittlere tägliche Minimaltemperatur (°C)	Mittlere tägliche Maximaltemperatur (°C)	Mittlere tägliche Temperatur (°C)	Mittlere tägliche Minimaltemperatur (°C)	Mittlere tägliche Maximaltemperatur (°C)
<b>Guggenauer Köpfl (NW-Exposition)</b>						
Ausserhalb Zäunung (A)	5.1	-5.6	18.7	6.2	3.8	9.7
Innerhalb Zäunung (I)	5.0	-5.6	18.9	6.2	4.0	9.1
Differenz A-I	0.1	0	-0.2	0	-0.2	0.6
<b>Reitsteig (ESE-Exposition)</b>						
Ausserhalb Zäunung (A)	6.1	-4.6	19.7	7.5	4.4	11.6
Innerhalb Zäunung (I)	5.7	-4.9	18.7	6.4	3.7	9.6
Differenz A-I	0.4	0.3	1.0	1.1	0.7	2.0
<b>Hinterlapberg (S-Exposition)</b>						
Ausserhalb Zäunung (A)	6.4	-4.5	22.5	8.3	4.9	15.0
Innerhalb Zäunung (I)	5.5	-4.7	21.1	6.4	3.7	9.8
Differenz A-I	0.9	0.2	1.4	1.9	1.2	5.2

Tab 3 Lufttemperatur in 1 m Höhe sowie Oberbodentemperatur 5 cm unter Flur auf inner- und ausserhalb der Zäunungen gelegenen Parzellen der Waldorte Guggenauer Köpfl, Reitsteig und Hinterlapberg (Zeitraum 1.5.2005 bis 30.4.2006).

hezu identisch; an den Waldorten Reitsteig und Hinterlapberg war hingegen die Lufttemperatur auf den gezäunten Parzellen durchschnittlich um 0.4 °C (Reitsteig) beziehungsweise 0.9 °C (Hinterlapberg) niedriger. Die minimalen Tagestemperaturen der bodennahen Luftschicht unterschieden sich zwischen den ungezäunten und den gezäunten Parzellen aller Waldorte kaum. Gleiches gilt am Guggenauer Köpfl für die maximalen Tagestemperaturen. Am Reitsteig und vor allem am Hinterlapberg (Abbildung 3) waren hingegen im gesamten Jahresverlauf die maximalen Tageswerte der Lufttemperatur ausserhalb der Zäunungen höher als innerhalb – im Mittel (Tabelle 3) um 1.0 °C (Reitsteig) beziehungsweise 1.4 °C (Hinterlapberg).

#### Oberbodentemperatur

Die Temperaturen im Oberboden der drei Waldorte lagen im Mittel um 0.7 bis 1.9 °C über den durchschnittlichen Lufttemperaturen (Tabelle 3). Im

Sommer war der Oberboden an allen Waldorten immer deutlich kühler als die bodennahe Luftschicht. Im Winter waren die Verhältnisse umgekehrt: Die Oberbodentemperatur lag auf allen Parzellen aufgrund der isolierenden Wirkung der Schneedecke immer über 0 °C, die mittlere Lufttemperatur hingegen meist unter 0 °C. Die drei Waldorte zeigten hinsichtlich der Differenzen zwischen den mittleren Bodentemperaturen von ungezäunter und gezäunter Parzelle dieselben Charakteristika wie bei den Unterschieden der Lufttemperaturen – sie waren aber weitaus stärker ausgeprägt. Am Guggenauer Köpfl war die mittlere tägliche Temperatur des Oberbodens auf der ungezäunten und der gezäunten Parzelle während des gesamten Untersuchungszeitraums identisch (Tabelle 3); an den Waldorten Reitsteig und Hinterlapberg waren hingegen die Tagesmittel der Oberbodentemperatur auf den gezäunten Parzellen vor allem in den Monaten ohne Schneedecke ausnahmslos

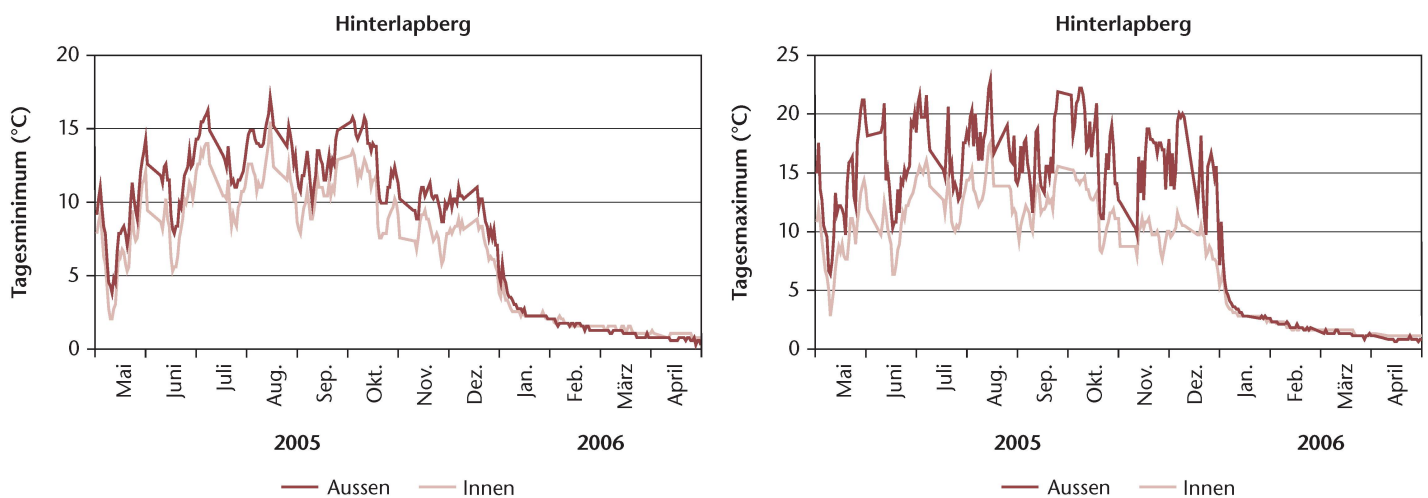


Abb 4 Verlauf der minimalen (links) und maximalen (rechts) täglichen Oberbodentemperatur in 5 cm Tiefe innerhalb und ausserhalb der Zäunung am Waldort Hinterlapberg.

niedriger – im Jahresdurchschnitt um 1.1 °C (Reitsteig) beziehungsweise 1.9 °C (Hinterlapberg). Im Gegensatz zur bodennahen Luftschicht lagen an den ESE- oder S-exponierten Waldorten die minimalen Temperaturen des Oberbodens auf den gezäunten Parzellen deutlich unter jenen der ungezäunten Vergleichsparzellen – im Jahresmittel um 0.7 °C (Reitsteig) respektive 1.2 °C (Hinterlapberg; Abbildung 4). Die maximalen Tagestemperaturen des Oberbodens waren an allen Waldorten von Mai bis Ende November ausserhalb der Zäunungen höher als innerhalb (Hinterlapberg; Abbildung 4); am Guggenauer Köpfl im Jahresmittel um 0.6 °C, am Reitsteig um 2.0 °C und am Hinterlapberg um 5.2 °C (Tabelle 3).

im Spätwinter (Mitte Februar bis Ende März) dicker, und die Standorte aperten später als ausserhalb (Abbildung 5). Der Aufbau der Schneedecke wies zwischen den Waldorten und zwischen den ungezäunten und den gezäunten Parzellen systematische Unterschiede auf: Am Guggenauer Köpfl differenzierte sich die Schneedecke im Verlauf des Winters zunehmend in mehrere hangparallele Abfolgen von dünnen Harschdeckeln (Tauperioden) über unterschiedlich mächtigen Paketen aus lockerem, mittelkörnigem Schnee (Schneefallereignisse). Innerhalb der Zäunungen war diese Laminarstruktur punktuell durch im Umkreis um die Jungwuchspflanzen ausgebildete vertikale Säulen- oder Kegelstrukturen unterbrochen. An den Waldorten Hinterlapberg und Reitsteig wurde die horizontale Abfolge von Harschdeckeln und Lockerschneeschichten ab Ende Januar durch intensive Durchfeuchtungs-, Setzungs- und Verlagerungsprozesse (Schneegleiten; am Hinterlapberg v.a. auf der ungezäunten Parzelle auch Nassschneelawinen) überprägt und war im Spätwinter nicht mehr erkennbar.

	Guggenauer Köpfl		Reitsteig		Hinterlapberg	
	ausserhalb Zaun	innerhalb Zaun	ausserhalb Zaun	innerhalb Zaun	ausserhalb Zaun	innerhalb Zaun
Mittlere Höhe der Schneedecke (cm) gesamter Zeitraum (1.12.05–1.5.06)	50.0	71.5	23.7	28.5	30.8	32.3
nur Termine mit Schneedecke	59.1	84.5	36.9	39.8	43.2	41.3
Verlagerung der Gleitschuhe (cm)	16 ± 17	0 ± 0	9 ± 28	7 ± 8	114 ± 62	23 ± 21

Tab 4 Mittlere Höhe der Schneedecke und Verlagerung der Gleitschuhe während des Winters 2005/06 auf den untersuchten Parzellen.

#### Mächtigkeit und Aufbau der Schneedecke

Im Winter 2005/06 wiesen die Waldorte von Dezember bis März (Hinterlapberg, Reitsteig) beziehungsweise April (Guggenauer Köpfl) eine zusammenhängende Schneedecke auf. Die mittlere Höhe der Schneedecke war am schattseitigen, niederschlagsreichen Guggenauer Köpfl am grössten, gefolgt vom sonnseitigen, niederschlagsreichen Hinterlapberg und dem niederschlagsärmeren Reitsteig (Tabelle 4). Innerhalb der Zäunungen war die Schneedecke v.a.

#### Bewegung von Niederschlags- und Schmelzwasser durch die Schneedecke

Am Hinterlapberg brach der auf der Oberfläche der Schneedecke ausgebrachte Tracer sowohl innerhalb als auch ausserhalb der Zäunung in der ausnahmslos stark durchfeuchteten Schneedecke innerhalb von nur 14 Tagen bis zum Boden durch. Vor allem im unteren Bereich der Schneedecke wurde ausserdem eine hangparallele Durchsickerung des Schnees mit Schmelzwasser, erkennbar an einer lateralen Abwärtsverlagerung von gelöstem  $\text{KMnO}_4$  in der Schneedecke, beobachtet. Ähnliches gilt für die ungezäunte Parzelle am Reitsteig. Auf der gezäunten Parzelle dieses Waldorts war die hangparallele Durchsickerung der Schneedecke viel schwächer, der Durchbruch des Tracers zur Bodenoberfläche dagegen deutlich stärker ausgeprägt. Auf der ungezäun-

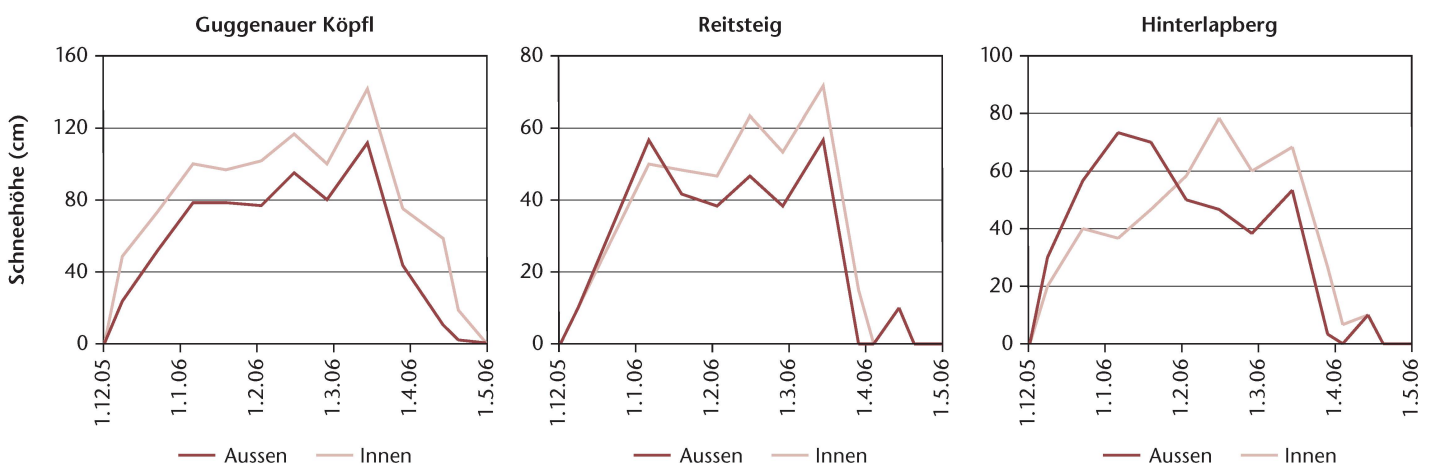


Abb 5 Entwicklung der Schneemächtigkeit im Winter 2005/06 innerhalb und ausserhalb der Zäunungen an den Waldorten Guggenauer Köpfl (links), Reitsteig (Mitte) und Hinterlapberg (rechts).



**Abb 6** Niederschlags- und Schmelzwasserverlauf ausserhalb (links) und innerhalb der Zäunung (rechts) am Guggenauer Köpfl. Aufnahmezeitpunkte: 14.2.2006 (oben), 27.2.2006 (Mitte) und 15.3.2006 (unten).

ten Parzelle des Waldorts Guggenauer Köpfl wurde der Tracer nur sehr langsam vertikal durch die Schneedecke verlagert. Noch am 15.3.2006, d.h. einen Monat nach Applikation des Tracers, war hier die Bodenoberfläche noch nicht erreicht; es dominierte eine oberflächenparallele, vor allem an den Harschschichten orientierte Hangabwärtsbewegung des Schmelzwassers in der Schneedecke (Abbildung 6). Auf der gezäunten Parzelle brach der Tracer hingegen innerhalb von 14 Tagen vertikal bis zur Bodenoberfläche durch, wobei die unmittelbare Umgebung der Jungwuchspflanzen als Leitbahn fungierte; der oberflächenparallele Transport von  $\text{KMnO}_4$  in der Schneedecke war dagegen nur schwach ausgeprägt.

#### Intensität des Schneegleitens

Am Guggenauer Köpfl war ausserhalb der Zäunungsfläche, wo der Jungwuchs nur vereinzelt höher als 20 bis 30 cm war (Abbildungen 1 und 2, links), schwaches Schneegleiten zu beobachten (Abbildung 7 links). Die Gleitprozesse waren für die im Südteil des Transekts, das nur eine geringe Altbaumüberschirmung aufwies, gelegenen Gleitschuhe 1–5

meist intensiver als für den stärker überschirmten Nordteil (Gleitschuhe 6–10). Innerhalb der dicht von 1 bis 3 m hohem Jungwuchs (Abbildungen 1 und 2, links) durchsetzten Zäunungsfläche kam es dagegen nicht zu Schneegleiten. Am Reitsteig war das Schneegleiten sowohl innerhalb als auch ausserhalb der Zäunung nur schwach ausgeprägt (Abbildung 7 Mitte). Am steileren, S-exponierten Hinterlapberg konnte starkes Schneegleiten nachgewiesen werden. Auf der ungezäunten Parzelle wurden die Gleitschuhe im Mittel um 114 cm hangabwärts verlagert (Abbildung 7 rechts); auf der von gut entwickeltem (5–10 m) Jungwuchs durchsetzten gezäunten Parzelle (Abbildungen 1 und 2, rechts) war der Versatz der Gleitschuhe mit 23 cm signifikant ( $p < 0.05$ ; MWU-Test) geringer.

## Diskussion

### Bestandesklima

An den sonnseitigen Lagen Reitsteig und Hinterlapberg wiesen die innerhalb der Zäunungen gelegenen Parzellen ein ausgeglicheneres, kühleres Mikroklima mit geringeren täglichen Spitzenwerten auf als die Vergleichsflächen ausserhalb der Zäune. Auf allen Parzellen dieser Waldorte stocken nur jeweils zwei Altbäume. Am Waldort Hinterlapberg befinden sich diese oberhalb beziehungsweise in 6 m Entfernung östlich der Temperaturmessfühler. Diese Bäume dürften die Luft- und Bodentemperaturen an den Fühlern überhaupt nicht oder sehr schwach beeinflussen; die gemessenen Unterschiede der Luft- und Bodentemperaturen sind daher auf den innerhalb und ausserhalb der Zäunungen unterschiedlich entwickelten Jungwuchs zurückzuführen. Am Reitsteig stehen die beiden Altbäume auf der ungezäunten Parzelle zirka 5 m in SE-Richtung unterhalb der Temperaturmessgeräte, auf der gezäunten Parzelle befindet sich ein Baum in 3 m Entfernung auf gleicher Höhe in S-Richtung, der andere liegt rund 6 m unterhalb in E-Richtung. Hier ist davon auszugehen, dass die Beschattung der Temperaturmessinstrumente durch die Altbäume auf der Aussenfläche grösser als auf der Innenfläche ist. Die gemessenen Temperaturdifferenzen (niedrigere Temperaturen innerhalb der Zäunungsfläche) dürften die wahren Differenzen daher eher unterschätzen.

Innerhalb der Zäunung entwickelte sich auch am S-exponierten Standort Hinterlapberg trotz anfänglich widriger lokalklimatischer Bedingungen (hohe Temperaturschwankungen im Tages- sowie im Jahresverlauf, häufige sommerliche Austrocknung des Wurzelraums) im Laufe der Zeit artenreicher, vitaler Jungwuchs. Dieser schuf mit der Zeit ein zunehmend ausgeglicheneres, kühleres Mikroklima (Bestandesklima). Am NW-exponierten Waldort Guggenauer Köpfl wurden im Gegensatz zu den

S- beziehungsweise ESE-exponierten Waldorten Hinterlapberg und Reitsteig keine Unterschiede zwischen den Luft- und Oberbodentemperaturen der ungezäunten und der gezäunten Parzelle festgestellt. Verantwortlich hierfür ist neben der Schattlage der Umstand, dass hier noch 40 Jahre nach Auftrieb des Oberstands und Zäunung auch innerhalb des Zaunes nur wenige Jungwuchspflanzen deutlich höher als die in 1 m Höhe installierten Temperatursensoren waren; ausserdem wirkte vermutlich die stärkere Altbaumüberschirmung auf beiden Flächen ausgleichend auf das Temperaturregime.

### Aufbau und Dynamik der Schneedecke

Unsere Schneegleitmessungen belegen einen deutlichen schneestabilisierenden Effekt von Alt- holzüberschirmung einerseits und gut entwickeltem Jungwuchs andererseits. Sowohl Altbäume als auch Jungwuchs stabilisieren die Schneedecke ähnlich eingerammten Pfählen mit allseitigem Schutzbe- reich (In der Gand 1968b, Newesely et al 2000, Bebi et al 2009). Unsere Profilansprachen und der Tracer- versuch zeigten ausserdem, dass die Schneedecke inner- halb der von dichtem Jungwuchs durchsetzten Zäunungen lateral heterogener strukturiert war als ausserhalb. Sie wies hier eine «Säulenstruktur» auf, die durch kleinräumige Heterogenität des Windfel- des und punktuelle Ablagerung von den Baumkro- nen abgerutschter Nassschneepakete sowie durch die Einwirkung von Kronentropfwasser auf die Schnee- decke geschaffen wurde (Imbeck 1987, Bründl et al 1999). Ausserhalb der Zäunungen war die Schneede- cke hingegen hangparallel geschichtet («Lagenstruk- tur» mit wiederholter Abfolge von Harschdeckeln). Dementsprechend führte die Schneedecke innerhalb der Zäunungen das Schmelzwasser analog zu Beob- achtungen von Bründl et al (1999) zu einem weitaus grösseren Teil schnell vertikal in den Boden ab als

ausserhalb, wo es auf den Harschdeckeln lateral in der Schneedecke hangabwärts floss beziehungsweise diffundierte (vgl. Schneebeli 1995). Grössere laterale Heterogenität und geringere Durchfeuchtung der Schneedecke reduzieren zusammen mit der verbes- serten mechanischen Verankerung der Schneedecke mit dem Boden Schneegleitprozesse und damit ver- bundene Bodenerosion (Laatsch 1974, Bebi et al 2009). Schneegleiten wird auch durch rasche Veränderun- gen der mechanischen oder thermischen Struktur der Schneedecke, zum Beispiel infolge schneller Temperaturänderungen, Schmelzprozesse oder Nie- derschläge begünstigt (Höllner 1997, Bebi et al 2009). Auch diese Prozesse sind in dicht bestockten oder mit gut entwickeltem Jungwuchs durchsetzten Wäl- dern infolge des homogenen Bestandesklimas ge- ringer ausgeprägt als auf Freiflächen oder in stark vergrasten, aufgelockerten Wäldern (Bebi et al 2009, diese Studie). In einem von In der Gand (1968b) durchgeführten Aufforstungsversuch mit Lärche in den Schweizer Alpen wurde bereits nach acht bis zehn Jahren eine merkliche Reduktion der Schnee- gleitaktivität beobachtet; 18 bis 26 Jahre nach Be- standesbegründung war ein ausreichender Schutz gegenüber Schneegleiten und Lawinen erreicht. An den von uns untersuchten Waldorten trat innerhalb der Zäunungen Schneegleiten allenfalls in sehr ge- ringem Umfang auf. Auf den nur gering überschirm- ten, stark vergrasten ungezäunten Parzellen war die Schneedecke hingegen schlechter mit dem Boden verbunden. Stabilisierender Jungwuchs ausreichen- der Dimension (Newesely et al 2000) ist kaum vor- handen; abgestorbene Sprosse des Bergreitgrases (*Calamagrostis varia*) bilden Gleitbahnen mit geringem Reibungswiderstand (Laatsch & Baum 1971, Höllner 1997). Zusammen mit der stärkeren Beson- nung, Erwärmung und Durchfeuchtung der Schnee- decke (Laatsch & Baum 1971, In der Gand 1968a,

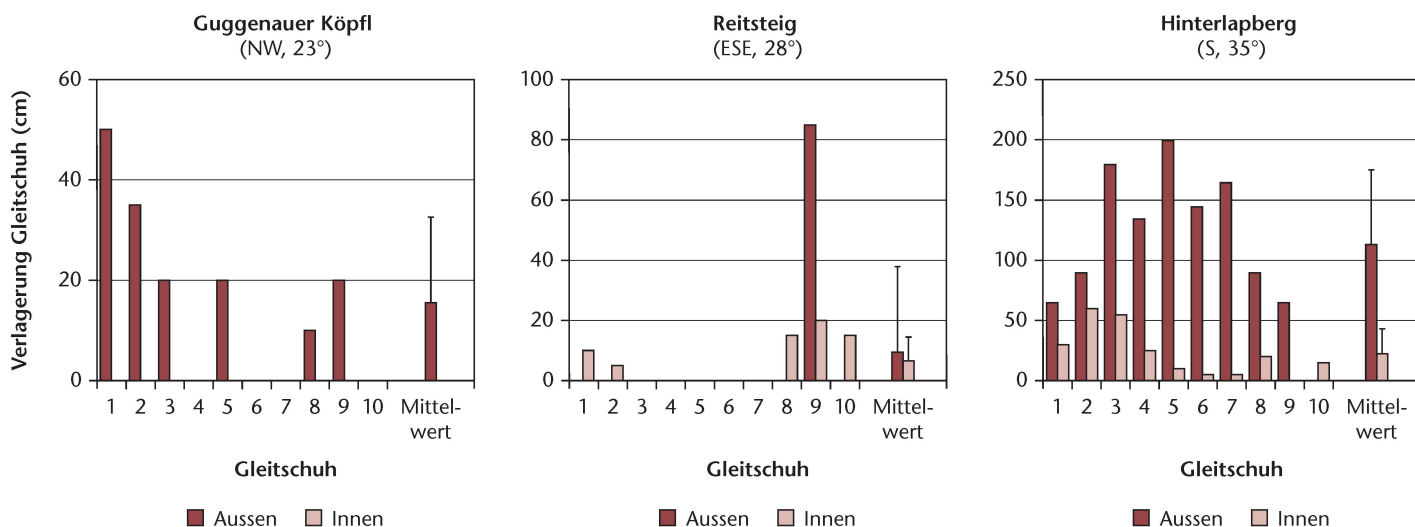


Abb 7 Verlagerung der Gleitschuhe innerhalb und ausserhalb der Zäunungsflächen an den Waldorten Guggenauer Köpfl (links), Reitsteig (Mitte) und Hinterlapberg (rechts) im Winter 2005/06.

Newesely et al 2000) führte dies vor allem am S-exponierten Waldort Hinterlapberg zu stark erhöhter Schneegleitaktivität. Am NW-exponierten Waldort Guggenauer Köpfl wurde Schneegleiten nur ausserhalb, nicht jedoch innerhalb der Zäunung beobachtet, obwohl die Altbestandsdichte auf der ungezäunten Parzelle in unmittelbarer Umgebung des Gleitschuhtransekts höher war als auf der gezäunten Vergleichsparzelle. Die dichte Naturverjüngung innerhalb der Zäunung stabilisierte hier trotz ihrer relativ geringen Durchschnittshöhe von nur rund 90 cm die Schneedecke sehr effektiv (Abbildung 7). Dichter Jungwuchs ist ab einer gewissen Mindesthöhe (ca. 1 m) offenbar mindestens genauso wirksam für die Stabilisierung der Schneedecke gegenüber Gleitprozessen wie Altbäume.

Zukünftig werden für die Nordalpen wärmere, feuchtere Winter erwartet (Beniston 2006); für die montane Bergmischwaldzone werden gehäuft Jahre mit geringmächtiger Schneedecke und dementsprechend reduzierter Schneegleitaktivität, aber auch vermehrt Winter mit starkem Nassschneeanfall prognostiziert. Letzterer kann insbesondere nach Durchfeuchtung durch Regen oder durch erwärmungsbedingte Schmelzprozesse zu starkem Schneegleiten führen. Angesichts einer von manchen Experten prognostizierten beschleunigten Auflösung von Altbeständen infolge vermehrten abiotischen (Stürme, Trockenheit v.a. auf S-exponierten Standorten) und biotischen Stresses wird dem Jungwuchs vermutlich vielerorts eine im Vergleich zu heute noch bedeutendere Rolle bei der Stabilisierung der Schneedecke zukommen.

#### **Bewertung des Einflusses von Schalenwild und Waldweide**

Die ungezäunten Parzellen waren bis 1985 (Guggenauer Köpfl), 1990 (Hinterlapberg) beziehungsweise bis heute (Reitsteig) nicht nur hohen Schalenwildichten, sondern auch Waldweidebelastung ausgesetzt. Prinzipiell könnten die im Jahr 2004 vorgefundenen Unterschiede in Zusammensetzung und Entwicklung des Jungwuchses innerhalb und ausserhalb der Zäunungen daher nicht nur durch Schalenwild, sondern auch durch landwirtschaftliche Nutztiere hervorgerufen worden sein. Die Waldweide (Guggenauer Köpfl und Hinterlapberg; Rinder; Reitsteig; Schafe) war allerdings an allen Waldorten sehr extensiv, die Nutztierbesatzstärke gering. Zahlreiche Studien (z.B. Liss 1988, 1989, Spatz & Rösch 1990, Mayer et al 2004, el Kateb et al 2009) zeigen, dass Waldweide bei geringer bis mässiger Beweidungsintensität im Vergleich zu überhöhten Wildbeständen nur eine geringe Verbissbelastung des Jungwuchses zur Folge hat und oftmals sogar zu einer hinsichtlich der Verjüngungsgunst verbesserten Bestandesstruktur führt (Mayer et al 2004). Insbesondere die in den Bayerischen Alpen in den letz-

ten beiden Jahrhunderten stark zurückgedrängte Tanne wird vom Weidevieh kaum, von Schalenwild hingegen stark verbissen (Liss 1988, 1989, el Kateb et al 2009). Extensive Waldweide steht den Ergebnissen mehrerer Studien zufolge (z.B. Mayer et al 2004, Schleicher et al 2007) nicht im Widerspruch zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Gebirgswäldern unter Wahrung ihrer Schutzfunktionen. Beweidung von Versuchsflächen in subalpinen Waldbeständen der Schweiz hatte erhöhte Zahlen an Fichtenkeimlingen zur Folge; vermutlich wirkt die punktuelle Freilegung des Mineralbodens durch Viehtritt hier positiv (Mayer et al 2004). Die Extensivierung beziehungsweise der Ausschluss der Beweidung an den in der vorliegenden Studie untersuchten Waldorten könnte somit deren Verjüngungsgunst erhöht haben.

Die hier vorgestellten Zäunungsexperimente (weitestgehender Ausschluss von Schalenwild) zeigen eher das Verjüngungspotenzial der Untersuchungsbestände auf, als dass sie einen «naturnahen Zustand» (geringer bis mässiger Schalenwilddruck) repräsentieren. Allerdings wurden die Zäune um die Untersuchungspartellen im Winter regelmässig beschädigt; die innerhalb der Zäunungen gelegenen Parzellen waren daher nicht vollständig schalenwildfrei. In schneereichen Wintern kann ausserdem insbesondere Rotwild die Zäune übersteigen. Der «naturnahe Zustand» ist überdies schwer zu definieren; vermutlich liegen jedoch in den durch sehr hohe Schalenwildbelastung charakterisierten Untersuchungsgebieten die innerhalb der Zäunungen gelegenen Parzellen deutlich näher am naturnahen Zustand als die ausserhalb gelegenen. Am Waldort Ruhpolding (ebenfalls montaner Bergmischwald auf Hauptdolomit) hatten bereits 10 bis 15 Jahre intensiver Bejagung, die vermutlich eine Annäherung an naturnähere Verhältnisse darstellte, die Ausbildung ähnlich hoher Jungwuchsdichten und -biomassen ausserhalb von Zäunungen wie innerhalb zur Folge (Prietzl & Ammer 2008).

#### **Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die vorliegende Studie bestätigt die von Laatsch (1974) geäusserte Vermutung, dass längerfristig starker Wildverbiss insbesondere auf stark geneigten sonnseitigen Hängen der montanen Bergmischwaldzone zu verstärktem Schneegleiten und zu Bodenlawinen führt. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen in Kombination mit früher publizierten Daten (Prietzl & Ammer 2008) aber auch, dass eine starke Reduktion der Schalenwildbelastung in montanen Bergmischwäldern der Hauptdolomitzone der Bayerischen Kalkalpen eine deutlich verbesserte Verjüngungsentwicklung und nachweisbare Standortverbesserung innerhalb von nur 30 bis 40 Jahren zur Folge hat. Hierbei wirken vermutlich mehrere Fak-

toren in einer positiven Rückkopplung – je nach Standort und dessen Exposition in unterschiedlicher Ausprägung – zusammen: 1) reduzierte Schädigung des Jungwuchses durch Wildverbiss ermöglicht ein gesteigertes Höhenwachstum und vermehrte Biomasseakkumulation. 2) Der sich besser entwickelnde Jungwuchs schafft vor allem an S-exponierten Hängen (z.B. Hinterlapberg) ein zunehmend ausgeglicheneres, kühleres Bestandesklima. Zudem führt er hier wie auch an Lagen mit andersartiger Exposition (z.B. NW; vgl. Guggenauer Köpfl) zu einem heterogeneren, stabileren Aufbau der winterlichen Schneedecke, reduziert Schneegleitprozesse, den Ergebnissen unserer Begehungen zufolge auch Bodenerosion und Humusschwund. 3) Dies hat zusammen mit dem gesteigerten Eintrag nährstoffreicher Jungwuchsstreu eine allmähliche Erhöhung des (Auflage-)Humusvorrats der Böden, eine Steigerung der Wasserspeicherkapazität sowie eine erhöhte, ausgeglichene Nährstoffnachlieferung aus dem Boden zur Folge. 4) Verbesserte Nährstoffverfügbarkeit, verringerter Trockenstress und reduzierte Beschädigung des Jungwuchses durch Schneegleiten beschleunigen die unter 1) skizzierte Dynamik der Jungwuchsentwicklung. Insbesondere auf flachgründigen S-exponierten Carbonatstandorten mit geringer Altholzüberschirmung sollte die durch Wasser- und Nährstoffknappheit beeinträchtigte Verjüngungsdynamik der Bestände (Baier 2004, Rigling et al 2008) daher durch Anpassung der Schalenwildichte rasch verbessert werden. Nur so kann eine weitere Standortdegradation vermieden werden, welche die jetzt schon vielerorts eingeschränkte Schutzfunktion der betroffenen Gebirgswälder weiter beeinträchtigen und zukünftige Schutzwaldsanierungsmassnahmen erheblich erschweren würde. Dabei muss hervorgehoben werden, dass Zäunung in den schneereichen Bayerischen Kalkalpen aufgrund der hohen Kosten für Errichtung, Kontrolle und Unterhalt der Zäune kein probates Mittel zur grossflächigen Sicherung einer artenreichen Verjüngung ist (Mayer 1974, Ammer et al 1988). Langfristig Erfolg versprechend ist vielmehr nur die nachhaltige Regulierung der Schalenwildichte auf ein waldverträgliches Niveau, vorrangig durch sinnvoll durchgeführte jagdliche Massnahmen, gegebenenfalls aber auch durch Förderung von Grossraubtieren beziehungsweise Einschränkungen des Störungsdruckes für das Wild ausserhalb des Waldes. ■

Eingereicht: 22. Mai 2009, akzeptiert (mit Review): 11. September 2009

## Dank

Ich danke den zuständigen Betriebsleitern der Bayerischen Staatsforsten, Revierleitern und Berufsjägern, insbesondere den Herren Süss, Loher, Hornsteiner, Loferer und Höss, für die Unterstützung mei-

ner Geländearbeiten, Prof. Dr. Christian Ammer für die freundschaftliche Zusammenarbeit sowie Pascale Naumann für die Übersetzung der Zusammenfassung ins Französische.

## Literatur

- AMMER C (1996) Impact of ungulates on structure and dynamics of natural regeneration of mixed mountain forests in the Bavarian Alps. *Forstw Cent.bl* 88: 43–53.
- AMMER U, MÖSSMER EM, SCHIRMER R (1988) Vitalität und Schutzbefähigung von Bergwaldbeständen im Hinblick auf das Waldsterben. *Forstw Cent.bl* 107: 122–123.
- BAIER R (2004) Ernährungszustand und mögliche Anpassungsmechanismen der Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) auf Dolomitstandorten der Bayerischen Kalkalpen. *Schweiz Z Forstwes* 155: 378–391. doi: 10.3188/szf.2004.0378
- BEBI P, KULAKOWSKI D, RIXEN C (2009) Snow avalanche disturbances in forest ecosystems – State of research and implications for management. *Forstw Cent.bl* 257: 1883–1892.
- BENISTON M (2006) Mountain weather and climate: A general overview and a focus on climatic change in the Alps. *Hydrobiol* 562: 3–16.
- BERNHART A, KNOTT H (1986) Waldentwicklung und Verjüngungssituation im oberbayerischen Bergwald. *Schr.reihe Dtsch Rat f Landespfll* 49: 854–862.
- BRANG P ET AL (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 362–373. doi: 10.3188/szf.2008.0159
- BRÜNDL M, SCHNEEBELI M, FLÜHLER H (1999) Routing of canopy drip in the snowpack below a spruce crown. *Hydrobiol Process* 13: 49–58.
- BURSCHHEL P (1975) Schalenwildbestände und Leistungsfähigkeit des Waldes als Problem der Forst- und Holzwirtschaft aus der Sicht des Waldbaus. *Allg Forstztg* 30: 217–221.
- EL KATEB H, STOLZ MM, MOSANDL R (2009) Der Einfluss von Wild und Weidevieh auf die Verjüngung im Bergmischwald. *Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF Aktuell* 71: 16–18.
- EWALD J (2005) Ecological background of crown condition, growth and nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. in the Bavarian Alps. *Eur J Forest Res* 124: 9–18.
- HÖLLER P (1997) Snow gliding on different managed areas near to the timberline. *Cent.bl gesamt Forstwes* 114 (2/3): 97–108.
- IMBECK H (1987) Schneeprofile im Wald. *Winterber Eidgenöss Inst Schnee- Lawinenforsch* 50: 177–183.
- IN DER GAND H (1968A) Neue Erkenntnisse über das Schneegleiten. *Schweiz Bauztg* 86: 557–561.
- IN DER GAND H (1968B) Aufforstungsversuche an einem Gleitschneehang. *Mitt Eidgenöss Anst forstl Vers.wes* 44: 233–326.
- LAATSCH W (1974) Hangabtrag durch Schnee in den oberbayerischen Alpen und seine Begünstigung durch unpflegliche Almwirtschaft und Wildverbiss. *Forstwiss Cent.bl* 93: 23–34.
- LAATSCH W, BAUM U (1971) Faktoren der Wald- und Bodenzerstörung durch Schnee in den Alpen. *Geoderma* 20: 324–333.
- LISS BM (1988) Versuche zur Waldweide – der Einfluss von Weidevieh und Wild auf Verjüngung, Bodenvegetation und Boden im Bergmischwald der ostbayerischen Alpen. *Forsch.ber forstl Forsch.anst Münch* 87. 209 p.

- LISS BM (1989) Die Wirkung der Weide auf den Bergwald – Ergebnisse mehrjähriger Untersuchungen. *Forsch.ber forstl Forsch.anst Münch* 99: 107 p.
- MAYER H (1974) Notwendige Massnahmen zur Lösung der Wildfrage im Schutzwaldbereich. *Allg Forstztg* 29: 51–53.
- MAYER AC, STÖCKLI V, GOTSCH N, KONOLD W, KREUZER M (2004) Waldweide im Alpenraum. Neubewertung einer traditionellen Mehrfachnutzung. *Schweiz Z Forstwes* 155: 38–44. doi: 10.3188/szf.2004.0038
- MEISTER G (1969A) Überlegungen zur künftigen Betriebsgestaltung im oberbayerischen Hochgebirge. *Forstwiss Cent. bl* 88: 203–230.
- MEISTER G (1969B) Ziele und Ergebnisse forstlicher Planung im oberbayerischen Hochgebirge. *Forstwiss Cent.bl* 88: 97–130.
- NEWESELY C, TASSER WE, SPADINGER P, CERNUSCA A (2000) Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic Appl Ecol* 1: 61–67.
- PRIETZEL J, AMMER C (2008) Montane Bergmischwälder der Bayerischen Kalkalpen: Reduktion der Schalenwilddichte steigert nicht nur den Verjüngungserfolg, sondern auch die Bodenfruchtbarkeit. *Allg Forst- Jagdztg* 179: 104–112.
- RIGLING A ET AL (2008) Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 316–325. doi: 10.3188/szf.2008.0316
- SCHLEICHER A, KÖNIGER J, MOSANDL R (2007) Waldweide differenziert beurteilen. *Freising: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF Aktuell* 58: 32–34.
- SCHNEEBELI M (1995) Development and stability of preferential flow paths in a layered snowpack. In: Tonnessen KA, Williams MW, Tranter M, editors. *Biogeochemistry of seasonally snow-covered catchments*. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences Press. pp. 81–88.
- SPATZ G, RÖSCH K (1990) Der Einfluss von Wild und Weidevieh auf die Naturverjüngung des Bergwaldes. *Alm- u Bergbauer* 11: 120–130.

## Schutzwälder der Nördlichen Kalkalpen: Verjüngung, Mikroklima, Schneedecke und Schalenwild

An drei Schutzwaldstandorten im montanen Bergmischwald der Bayerischen Kalkalpen wurden Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Schalenwildbelastung, Verjüngung, Bestandesklima und Schneedynamik herausgearbeitet. Die Studie wurde auf innerhalb und ausserhalb von seit rund 35 Jahren etablierten Wildschutzzäunungen eingerichteten Untersuchungspartellen durchgeführt. Mittels Dataloggern wurden ein Jahr lang die Luft- und Oberbodentemperaturen im Stundentakt aufgenommen; im Winter 2005/06 wurden Mächtigkeit, Aufbau und Mobilität der Schneedecke untersucht. Innerhalb der mit dichtem Bergmischwald-Jungwuchs bestockten Zäunungsflächen waren die mittleren Luft- und Oberbodentemperaturen um bis zu 0.9 °C (Luft) beziehungsweise 1.9 °C (Boden) niedriger als auf den Vergleichspartellen ausserhalb der Zäunungen. Die maximalen Tageswerte von Luft- und Oberbodentemperatur lagen innerhalb der Zäunungen um 1.4 °C beziehungsweise 5.2 °C niedriger. Die Temperaturdifferenzen zeigten eine deutliche Abhängigkeit von der Exposition (NW < ESE < S). Die Schneedecke wuchs im Frühwinter innerhalb der Zäunungen aufgrund der Interzeption des Jungwuchses langsamer an als ausserhalb und baute sich im Spätwinter aufgrund stärkerer Beschattung später ab. Sie war innerhalb der Zäunungen heterogener strukturiert (Säulenstruktur) als ausserhalb (Lagenstruktur mit hangparalleler Schichtung). Dementsprechend führte die Schneedecke innerhalb der Zäunungsflächen Schmelzwasser zu einem grösseren Teil schnell in den Boden ab als ausserhalb, und die Schneegleitaktivität war geringer. Der weitgehende Ausschluss von Schalenwild durch Zäunung führte vor allem auf sonnseitigen Hängen zu einem kühleren, weniger extremen Kleinklima, stabilerem Aufbau der Schneedecke und geringerer Schneegleitaktivität. Die adäquate Regulation der Schalenwildbestände ist insbesondere angesichts des für die Alpen zu erwartenden Klimawandels somit ein Schlüsselfaktor für eine nachhaltige Gewährleistung der Schutzfunktion montaner Bergmischwälder in den Nördlichen Kalkalpen.

## Les forêts de protection dans les Alpes calcaires septentrionales: rajeunissement, climat local, couverture de la neige et gros gibier

On a exploré la relation entre nuisance du gros gibier, rajeunissement, climat local et dynamique de la neige sur trois sites de forêts de protection dans une forêt mixte de montagne dans les Alpes calcaires bavaroises. L'étude a été réalisée à l'intérieur et à l'extérieur de parcelles définies et entourées de clôtures depuis 35 ans pour les protéger du gibier. On a relevé toutes les heures les températures du sol et de l'air. Pendant l'hiver 2005/06, on a analysé la couverture neigeuse en ce qui concerne son épaisseur, sa structure et sa mobilité. Les températures de l'air et du sol étaient plus basses, jusqu'à 0.9 °C pour l'air et 1.9 °C pour le sol, dans les parcelles clôturées et densément boisées de recrû que dans les sites en dehors des clôtures. Les résultats journaliers maximaux des températures de l'air et du sol dans les parcelles clôturées étaient respectivement de 1.4 °C et 5.2 °C plus bas. Les différences de températures ont montré une dépendance importante de l'exposition (NO < ESE < S). Au début de l'hiver, la couverture neigeuse a augmenté plus lentement à l'intérieur de la parcelle clôturée à cause de la présence du recrû qu'à l'extérieur et à la fin de l'hiver a fondu plus tard à cause de l'ombre importante. A l'intérieur de la parcelle clôturée, elle avait une structure plus hétérogène (structure colonnette) qu'à l'extérieur (structure stratifiée). En conséquence, la couverture neigeuse à l'intérieur des surfaces clôturées évacuait l'eau de fonte des neiges pour une grande partie plus vite dans le sol qu'à l'extérieur et l'activité de glissement était moindre. L'exclusion du gros gibier a provoqué, surtout sur les pentes ensoleillées, un climat plus frais et moins extrême, stabilisant la couverture neigeuse et amoindrissant l'activité de glissement de la neige. En raison du changement de climat présumé, une régulation adéquate du gros gibier par des mesures concernant la chasse est une des solutions pour une garantie durable de préservation des forêts mixtes de montagne dans les Alpes calcaires septentrionales.