

## VEGETATIONSDYNAMIK IM VORFELD DES LYS-GLETSCHERS (VALLE DI GRESSONEY/REGION AOSTA/ITALIEN) SEIT 1821

Mit 12 Abbildungen, 5 Photos und 2 Tabellen

UWE TRETER, MIGNON RAMSBECK-ULLMANN, HANS JÜRGEN BÖHMER und HERMANN BÖSCHE

*Summary:* Vegetation dynamics in the Lys glacier forefield (Valle di Gressoney/ Aosta region/ Italy) since 1821

After the retreat of the Lys glacier ice masses (Valle di Gressoney, Aosta Region, Italy), young larch woodland has developed on its outwash plains. The sporadic evolution of the stands after 1821, however, cannot be attributed to favourable regional climatic periods. With respect to its effect on the evolution of the woodland, the local climatic influence of the glacier overrules the influence of the regional climate. Depending on distance from the glacier, the local climatic influence can be so dominant that even the well-established individual trees react in a uniform fashion. This behaviour is reflected in predominantly synchronous tree-ring curves. The primary succession of the forest has taken place in four progressive phases. The first phase of initial shrub succession is very rich in species and characterized by high spatial diversity. In the second phase, the first tree groups become established and the development of distinct vegetation layers becomes recognisable. In the third phase, the establishment of the pioneer tree species gradually ceases. This is connected to a marked internal differentiation in the layers of the understorey. In the fourth phase, the younger forests become denser and the replacement of the pioneer species *Larix decidua* by *Picea abies* can clearly be observed. The development of the dominant pattern of the shrub-grass and cryptogame (moss/lichen) layer is mainly driven by *Rhododendron ferrugineum*.

*Zusammenfassung:* Im Vorfeld des Lys-Gletschers (Valle di Gressoney, Region Aosta, Italien) entwickeln sich nach dem Rückzug der Eismassen junge Lärchenwälder. Die nach 1821 in Schüben erfolgte Bestandsentwicklung lässt sich jedoch nicht den regionalklimatischen Gunstperioden zuordnen. Der lokale Klimaeinfluss des Gletschers ist für die Entwicklung des Waldbestandes prägender als das Regionalklima. In Abhängigkeit von der Gletschnähe ist der lokale Klimaeinfluss so einheitlich, dass auch die einmal etablierten Baumindividuen einheitlich reagieren, was sich in weitgehend synchronen Jahrringkurven widerspiegelt.

Die Primärsukzession des Waldes verläuft in vier Aufbauphasen. Die erste Aufbauphase mit beginnender Gehölsukzession ist sehr artenreich und von einer hohen Standortdiversität gekennzeichnet. In der zweiten Aufbauphase etablieren sich erste Baumgruppen, die Ausbildung verschiedener Vegetationsschichten wird erkennbar. In der dritten Aufbauphase findet ein allmählicher Bestandsschluss der Pionierbaumart statt, verbunden mit einer ausgeprägten schichtinternen Differenzierung des Unterwuchses. In der vierten Aufbauphase verdichten sich die jungen Altersklassenwälder generativ, die Ablösung der Pionierart *Larix decidua* durch den Hauptkonkurrenten *Picea abies* zeichnet sich ab. Die Dominanzmuster der Kraut-Gras-Schicht bzw. der Kryptogamenschicht werden vor allem durch *Rhododendron ferrugineum* gesteuert.

### 1 Einführung

Der anhaltende, in Zusammenhang mit der gegenwärtigen Klimaerwärmung diskutierte Rückzug vieler Alpengletscher gibt in den Vorfeldern neuen Siedlungsraum für Pflanzen frei. Auf dem juvenilen Substrat setzt eine Primärsukzession ein, die je nach Höhenlage auch in die Entwicklung von Waldökosystemen münden kann. Die besonderen Umstände der Vegetationsentwicklung auf Gletschervorfeldern sind seit langem Gegenstand vegetationskundlicher Forschung (z. B. FRIEDEL 1938; LÜDI 1944; 1958; JOCHIMSEN 1970; MATTHEWS 1978; 1992; BÄUMLER 1988; MCCARTHY et al. 1991; RICHTER 1994; HELM a. ALLEN 1995; STÖCKLIN a. BÄUMLER 1996; BURGA 1999).

Die genaue Datierung von Moränenlagen ermöglicht in vielen Vorfeldern eine relativ genaue Rekonstruktion der Rückzugsphasen und damit des Einsetzens der Primärsukzession bzw. des Beginns der Wald-

entwicklung. Dies gilt auch für das Vorfeld des Lys-Gletschers, dem größten Talgletscher der italienischen Alpen (s. u.). Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurde unter anderem folgenden Fragen nachgegangen: Wie verläuft die Waldentwicklung seit dem Beginn des Eisrückzuges im Jahre 1821? Gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen der Entwicklung von im Gletschervorfeld etablierten Bäumen und dem Regionalklima? Wie verläuft die Entwicklung des Unterwuchses? Hängt sie von der Entwicklung der Baumschicht ab? Zur Klärung dieser Fragen wurden dendroökologische und pflanzensoziologische Methoden kombiniert eingesetzt (vgl. 3).

### 2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im oberen Valle di Gressoney, einem nördlichen Seitental des Aosta-Tales

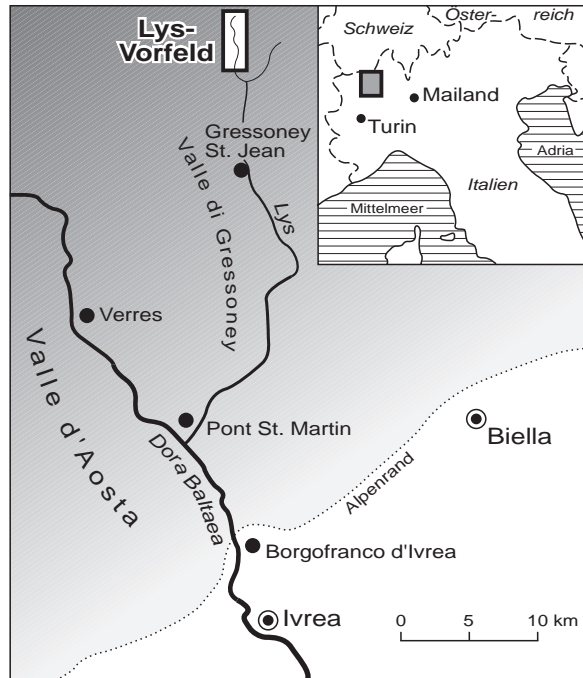


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes  
Location of study area

(Abb. 1). Den Talschluss nördlich von Staval (1850 m) bildet das Monte Rosa-Massiv mit Lyskamm (4527 m), Castor (4226 m) und Vincent-Pyramide (4215 m). Aus deren Flanken dringen die Eismassen des Lys-Gletschers (Ghiacciaio del Lys) ins Tal vor und vereinigen sich südlich der „Cresta del Naso“ zu einer Gletscherzunge, die noch heute bis zum sogenannten „Plateau“ auf knapp 2500 m herabreicht. Der Lys-Gletscher ist mit über 5 km Gesamtlänge und 1,3 km Zungenlänge bei einer Oberfläche von 10,78 km<sup>2</sup> der größte Talgletscher Italiens (BACHMANN 1978, 147). Die gegenwärtig auf dem „Plateau“ liegende Gletscherzunge trägt bemerkenswert viel Obermoräne und erreicht eine maximale Breite von etwa 500 m (vgl. STRADA 1988; MONTERIN 1991).

Im vom Lys-Fluss zerschnittenen Vorfeld dieser Zunge liegen die Untersuchungsflächen (Abb. 2). Entscheidend für die Wahl des Untersuchungsgebietes war u. a. die klare Gliederung des Gletschervorfeldes in verschiedene Rückzugsstadien. Wie vergleichende Studien belegen, stimmt der Lys-Gletscher in seinen Oszillationsbewegungen mit anderen Alpengletschern überein und hinterließ mehrere deutlich erkennbare Seiten- und Endmoränenzüge, die auch lichenometrisch datiert wurden (STRADA 1988). Die Dynamik der Eisfront ist für die Jahre 1812–1995 gut dokumentiert (MONTERIN 1991; HÄBERLI et al. 1998; vgl. Tab. 1) und in

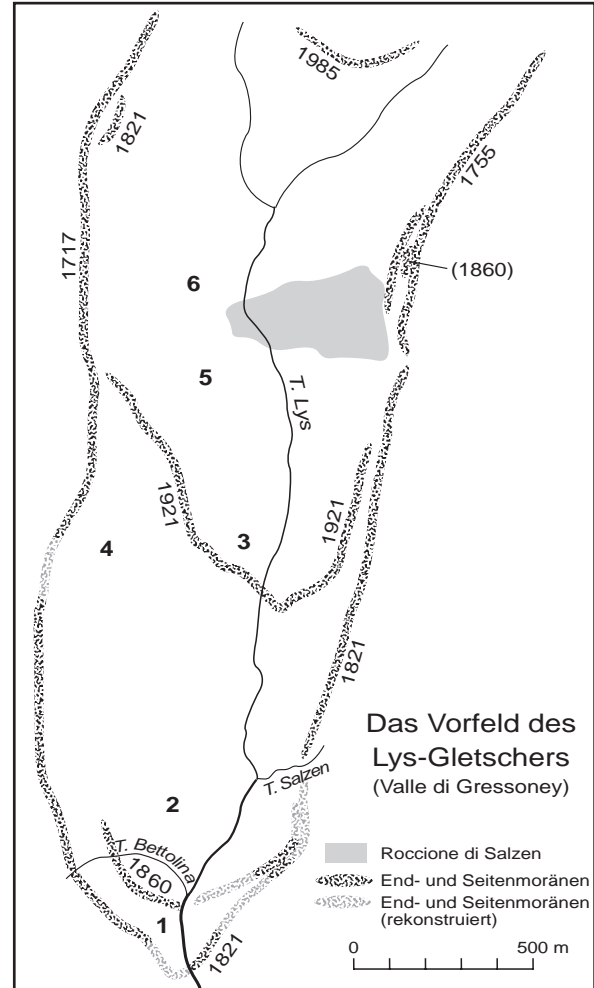


Abb. 2: Lage der Untersuchungsflächen im Vorfeld des Lys-Gletschers (Valle di Gressoney, Aosta) mit Lage der Seiten- und Endmoränen (nach STRADA 1988)

Location of study sites in the forefield of the Lys glacier (Valle di Gressoney, Aosta) showing location of lateral and end moraines

Abb. 3 dargestellt. Seit 1822 hat sich die Gletscherfront um 1035 m zurückgezogen; dieser Rückgang hält weiterhin an (vgl. Photos 1 und 2).

### 3 Methoden und Material

#### 3.1 Untersuchungsflächen

Im seit 1821 eisfrei gewordenen Vorfeld wurden in Höhenlagen von 2000 m bis 2470 m Probeflächen eingerichtet. Anhand im Gelände erkennbarer, sicher datierter Moränenzüge wurden sechs Standorte (Lys 1–6) ausgewählt, um die Wiederbewaldung innerhalb der

Table 1: Oszillationen der Front des Lys-Gletschers von 1812–1995 (nach MONTERIN 1991 und HÄBERLI et al. 1998)

Oscillations of the front of the Lys glacier 1812–1995							
Vorstoß- periode	Dauer in Jahren	Vorstoß in m	Vorstoß m/Jahr	Rückzugs- periode	Dauer in Jahren	Rückzug in m	Rückzug m/Jahr
1812–1821	9	300	33	1822–1842	20	–365	18
1843–1860	17	315	16	1861–1882	21	–950	45
1883–1891	8	120	15	1892–1912	20	–120	6
1913–1921	8	186	23	1922–1972	50	–640	13
1973–1985	13	119	9	1986–1995	10	–80	8
Summe		1040				–2075	
				Rückzug		–1035	

einzelnen Rückzugsstadien repräsentativ erfassen zu können (Abb. 2). Um eine vergleichbare Basis zu schaffen, haben die Probeflächen die einheitliche Größe von 20 x 20 Metern.

### 3.2 Altersstruktur und Dendrochronologie der Baumbestände

Auf den Probenflächen wurde jeder einzelne Baum markiert, seine Höhe bestimmt und lagegetreu mit Kronenprojektion kartiert. Zur Altersbestimmung der Bäume wurde von jedem Baum in 30 cm Höhe ein Bohrkern mit einem Zuwachsbohrer gezogen bzw. von gefällten Bäumen eine Stammscheibe entnommen. Auf diese Weise wurden insgesamt 178 Bäume auf den sechs Untersuchungsflächen beprobt. Ergänzend dazu wurden von weiteren 50 Bäumen zwischen den Untersuchungsflächen Bohrkern zur Charakterisierung der Altersstruktur des bewaldeten Gletschervorfeldes gesammelt.

Im Labor wurden die Stammscheiben und die auf Holzträger montierten Bohrkern mit Sandpapier verschiedener Körnungen so weit geschliffen, dass auch die schmalsten Jahrringe gut erkennbar wurden. Von allen Stammscheiben und Bohrkernen wurden die Jahrringbreiten auf einem Jahrringmesstisch (Firma Frank Rinn) vermessen und individuelle Jahrringkurven erstellt. Durch die Synchronisation der Jahrringkurven konnte das genaue Alter auch bei fehlenden oder nur schwach ausgebildeten Jahrringen ermittelt werden. Bohrkern, bei denen das Mark verfehlt worden war, wurden alterskorrigiert, indem mit einer Schablone konzentrischer Ringe die fehlenden Jahrringe im Vergleich mit vollständigen Bohrkernen geschätzt und dann aufaddiert wurden.

Um das tatsächliche Alter, d. h. das Keimungsjahr aus den für 30 cm über Grund ermittelten Altersdaten ableiten zu können, wurden von mehreren Bäumen Stammscheiben sowohl an der Basis in 0 cm als auch in 30 cm Höhe entnommen. Da die Stammbasis nicht immer sicher festzulegen ist, erhält man das absolute Alter nur mit einer Genauigkeit von 2–3 Jahren (TRETER 1992). Mit Hilfe linearer Regressionsgleichungen konnten aus den Alterswerten für 0 und 30 cm Höhe für jeden Standort Korrekturwerte zwischen 4 und 10 Jahren errechnet werden. Alle Angaben in dieser Arbeit beziehen sich auf das Keimungsalter, das aber wegen der verschiedenen methodisch bedingten Korrekturen stets nur als Näherungswert zu betrachten ist.

Für jede der Flächen wurden die Einzelkurven von jeweils 15–20 dominanten bzw. gutwüchsigen Bäumen der gleichen Altersklasse zu Standortchronologien zusammengefasst, die Auskunft über den standortspezifischen und klimaabhängigen Wachstumsverlauf geben können. Von den jüngeren Baumbeständen der Flächen Lys 3, 5 und 6 wurden sowohl Kerne aus 30 cm Höhe als auch Stammscheiben von der Basis in die Standortkurven einbezogen. Damit konnte für diese Standorte auch der Jahrringzuwachs der ersten Lebensjahre erfasst werden. Die Chronologien der Flächen Lys 4 und 6, die nur wenige Bäume ähnlichen Alters haben, sind nicht hinreichend abgesichert und werden lediglich zur Kennzeichnung des Trends in eine vergleichende Betrachtung einbezogen. Alle Standortchronologien wurden zur besseren Vergleichbarkeit nach dem bei SCHWEINGRUBER (1983) beschriebenen Verfahren standardisiert. Zur Verdeutlichung des Kurvenverlaufs wurden alle Standortkurven mit einem fünfjährigen gleitenden Mittel geglättet.



*Photo 1 und 2:* Die Front des Lys-Gletschers im Sommer 1997 und im Sommer 1999. Die Verlagerung des hausgroßen Findlings dokumentiert den anhaltenden und raschen Rückzug der Eismassen

*Photo:* HERMANN BÖSCHE

Front of the Lys glacier in the summer of 1997 and of 1999. The altered position of the large erratic documents the continuing and rapid retreat of the ice masses

### 3.3 Klimadaten

Klimadaten stehen von den Stationen Gressoney d' Eyola in 1850 m ü. M. für den Zeitraum 1928 bis 1988 und vom Grand St. Bernardino in 2472 m ü. M. für den Zeitraum 1848 bis 1995 als Monats- und Jahreswerte für Temperatur und Niederschlag zur Verfügung. Trotz des Höhenunterschiedes von rund 600 m laufen die Temperaturkurven von beiden Stationen weitgehend parallel. Die Niederschläge weisen dagegen sowohl in der Menge als auch in der Verteilung nur

geringe Übereinstimmungen auf. Für den Vergleich mit den Jahrringkurven aller Standorte werden die Temperaturdaten von der Station Grand St. Bernardino verwendet, und zwar ohne Extrapolation auf die jeweilige Standorthöhe. Für die Berechnungen der Korrelationen zwischen Temperaturvariablen und Jahrringbreite sowie auch für den visuellen Vergleich von Jahrringkurven und Temperaturverlauf wurden sowohl die Juli-Werte als auch die Mittelwerte der Monate Juni–August, Juni–September und Mai–September herangezogen (Abb. 4). Für den Zeitraum 1850

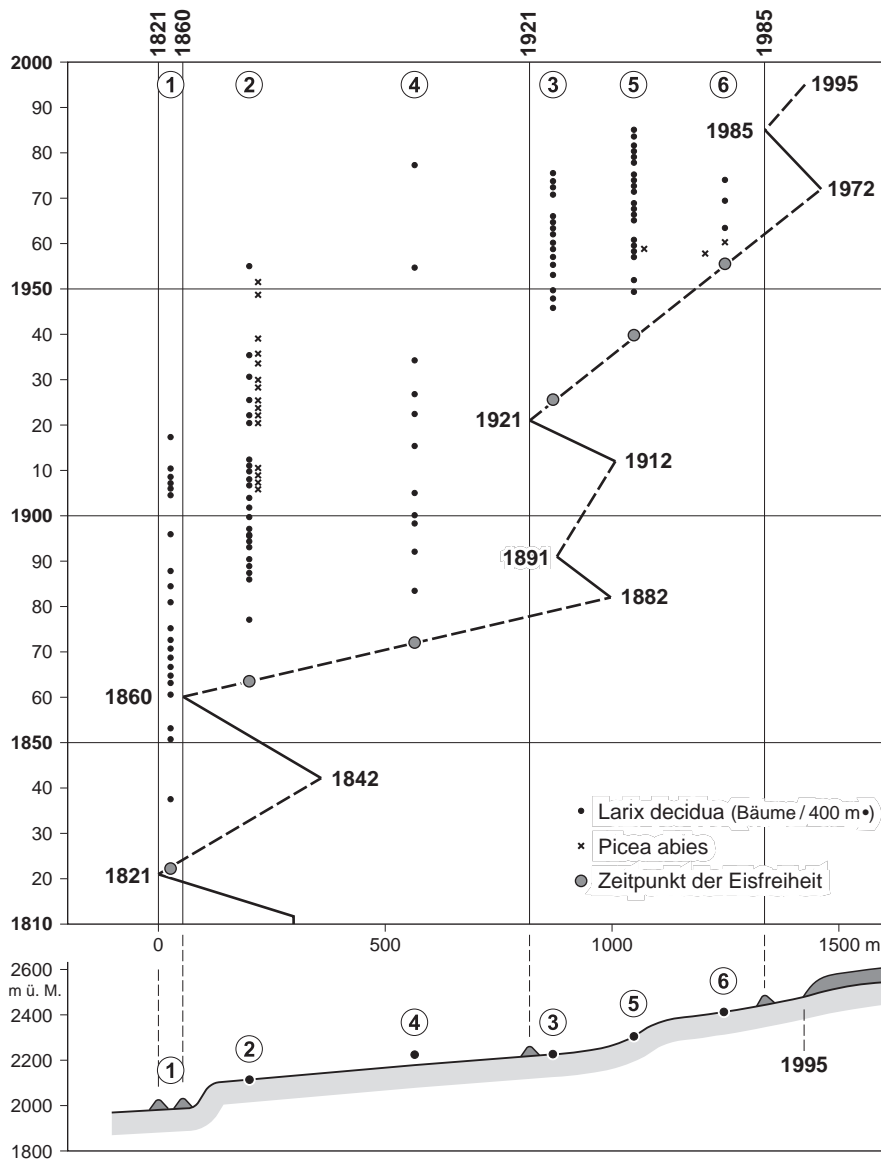


Abb. 3: Die Dynamik des Lys-Gletschers für den Zeitraum 1812–1995 in raum-zeitlicher Darstellung (Vorstoß- und Rückzugsperioden nach MONTERIN 1991 und HÄBERLI et al. 1998). Über den Standortmarkierungen Lys 1–6 sind die Keimungsjahre aufgetragen

The spatio-temporal dynamics of the Lys glacier during the period 1812–1995 (advance and retreat periods after MONTE-RIN 1991 and HÄBERLI et al. 1998). Years of germination are indicated above the site references Lys 1–6

bis 1995 zeigen alle Temperaturkurven einen deutlich ansteigenden Trend, wobei seit etwa 1910 der eigentliche Anstieg beginnt.

### 3.4 Besiedlungsdynamik

Der Zeitpunkt, an dem jeder einzelne Punkt bzw. eine ausgewählte Untersuchungsfläche im Gletscher-

vorfeld eisfrei geworden ist, kann nur näherungsweise unter der Annahme eines gleichmäßigen Eisrückgangs und der gleichen Form der Gletscherzunge während der Rückzugsphasen geschätzt werden. Grundlage dafür ist die Tabelle 1 und die graphische Darstellung der Gletscherschwankungen von 1812 bis 1995 (Abb. 3). Die jeweiligen bekannten und zum Teil durch Moränen markierten Gletscherlagen werden unter Berück-

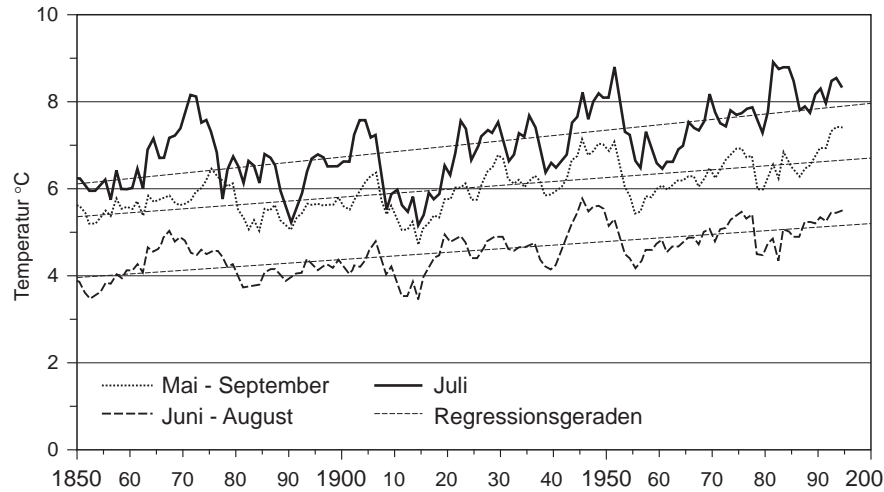


Abb. 4: Mit einem 5-jährigen gleitenden Mittel geglättete Kurven von ausgewählten Sommertemperaturen an der Station Grand St. Bernardino (2472 m ü. M.) für den Zeitraum 1850–1995. Anhand der linearen Regressionsgeraden ergibt sich für die Juli-Temperatur zwischen 1850 und 1995 ein Temperaturanstieg von 2° C, für die Mitteltemperatur der Monate Juni–August und Mai–September jeweils ein Anstieg von etwa 1,5°C

Individual summer temperatures at the Grand St. Bernardino Station (2,472 m a.s.l.), smoothed with a 5-year running mean. Based on the slopes of the linear regression, a temperature rise of 2° C results for July temperatures in the period between 1850 and 1995; and a rise of ca. 1.5° C results for the months of June–August and May–September

sichtigung ihrer Lage auf der Zeitachse mit Linien verbunden, deren Steigungsmaß von der Rückzugs- bzw. Vorstoßgeschwindigkeit des Gletschers abhängt. Als Bezugspunkt für die Distanzangaben dient die Moräne von 1821. Auf den Verbindungslinien zwischen den datierten Gletscherlagen sind die Untersuchungsflächen markiert, über denen das Keimungsalter der einzelnen Bäume als Punkte eingetragen und auf der Zeitachse abzulesen ist. Gleichaltrige Bäume sind in einem Punkt zusammengefasst.

### 3.5 Pflanzensoziologische Aufnahmen und Auswertungen

Zur grundlegenden Charakterisierung der Vegetation im Untersuchungsgebiet wurde auf präferentiell platzierten Aufnahmeflächen die Gesamtdeckung der Vegetation sowie Dominanz und Abundanz der Arten nach LONDO (1975) erhoben. Zur besseren Verständigung mit konventionellen Arbeiten wurde eine Klassifikation der pflanzensoziologischen Aufnahmen nach der üblichen Methode der BRAUN-BLANQUET-Schule vorgenommen (synoptischer Tabellenvergleich, vgl. MUELLER-DOMBOIS u. ELLENBERG 1974). Auf eine Darstellung der Ergebnisse (vgl. BÖSCHE 1996; BÖHMER 1999) wird hier aus Platzgründen verzichtet.

Zusätzlich wurde das kleinräumige Vegetationsmosaik der Krautschicht auf Teilflächen der 20 x 20 m Plots in regelmäßig platzierten 1 x 1 m Subplots erfasst,

um die Gesamtentwicklung der Waldvegetation vom ersten Einzelbaum (Baumgrenze) und seinen Begleitern bis zum etablierten Wald genauer nachvollziehen zu können. Wegen der sehr ungünstigen Witterungsbedingungen im Aufnahmezeitraum musste die ursprüngliche Absicht, auf allen sechs Flächen 100 1m<sup>2</sup>-Subplots (angeordnet als 10 x 10 m-Quadrat) für pflanzensoziologische Aufnahmen anzulegen, aufgegeben werden. Das Aufnahmedesign ist deshalb unvollständig geblieben, wodurch die Vergleichbarkeit der Subplots aber nicht beeinträchtigt wird; lediglich die Menge der Information ist geringer. Die Flächen setzen sich folgendermaßen zusammen: Lys 6: 50 Subplots (= 5 x 10 m), Lys 5: 40 (= 4 x 10 m), Lys 4: 50 (= 5 x 10 m), Lys 3: 50 (= 5 x 10 m), Lys 2: 100 (= 10 x 10 m) und Lys 1 ebenfalls aus 100 (= 10 x 10) Subplots. Auch hier wurde die Gesamtdeckung der Vegetation sowie Dominanz und Abundanz der Arten nach LONDO (1975) erhoben. Zur numerischen Klassifikation dieser Aufnahmen und des Artverhaltens wurde das Programmpaket MULVA (Version 5, vgl. WILDI 1984) eingesetzt. Dabei wurden die Daten der sechs Standorte zu einer Datei zusammengefasst, presence/absence-transformiert und einer Clusteranalyse unterzogen, bei der sechs Klassen (= Cluster) berechnet wurden (Distanzmaß chord distance, minimum variance clustering). Diese Klassen charakterisieren die verschiedenen Sukzessionsstadien auf den sechs Untersuchungsflächen (vgl. Abb. 7).

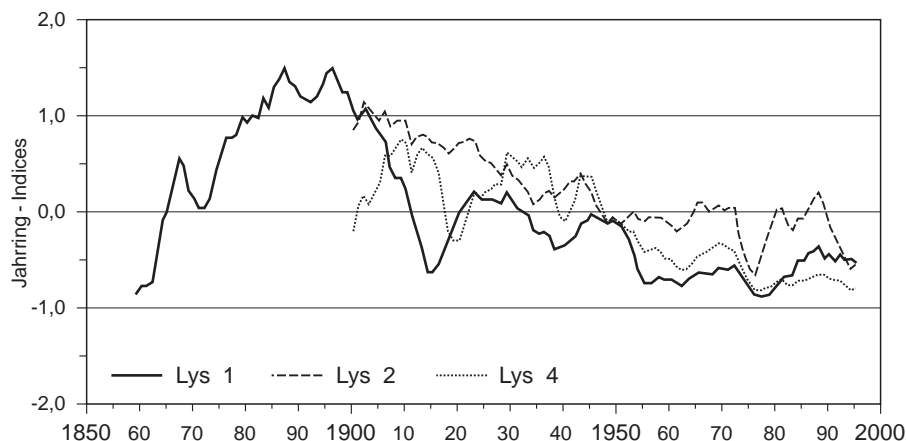


Abb. 5: Standardisierte und mit einem 5-jährigen gleitenden Mittel geglättete Jahrringkurven der Standorte Lys 1, 2 und 4  
Standardized and smoothed (5-year running mean) tree-ring curves of Lys 1, 2, and 4 sites

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Waldentwicklung

Die Entwicklung des subalpinen Waldökosystems auf dem Gletschervorfeld beginnt mit der Etablierung erster Pionierbäume, die sich nach dem Rückzug des Eises mit einer unterschiedlich langen Verzugszeit auf der Grundmoräne anzusiedeln beginnen.

#### 4.1.1 Lys 1

Am Standort Lys 1 in 1990 m ü. M. beträgt die gegenwärtige Bestandsdichte 725 Bäume pro Hektar. Die ältesten Bäume sind ca. 150, die jüngsten ca. 90 Jahre alt, wobei die Altersklasse der 120 bis 140-jährigen den Hauptanteil stellt. Die meisten Bäume erreichen heute eine Wuchshöhe von über 20 m bei Stammumfängen von z. T. über 2 m. Die erste sporadische Besiedlung setzte nach rund 15 Jahren Verzugszeit mit wenigen Exemplaren von *Larix decidua* ein und fällt damit etwa in die Mitte der bis 1842 andauernden Rückzugphase des Lys-Gletschers. Bis zum erneuten Gletscherhochstand von 1860 hatten erst rund 15% der Lärchen des derzeitigen Bestandes Fuß gefasst.

Die Jahrringe dieser Bäume sind bis 1865 sehr schmal. Im Verlauf des Gletscherrückganges werden die Jahrringe dann zunehmend breiter und erreichen ihre Maximalwerte in der Zeit von 1880–1910, in der sich auch die meisten Bäume des gegenwärtigen Bestandes etablieren. Nach etwa 1915 findet keine weitere Besiedlung mehr statt. Der erhebliche Zuwachseinbruch in den Jahren 1912–1914 korrespondiert zwar mit niedrigen Sommertemperaturen, ist aber im

wesentlichen auf Lärchenspannerbefall zurückzuführen (Abb. 5). Die schmalen Jahrringe haben die dafür typischen Merkmale der dünnwandigen Spätholzzellen (SCHWEINGRUBER 1993).

In den 100 Subplots wurden insgesamt 40 Arten (davon drei Moose und eine Flechtenart) aufgenommen. Dem Weideeinfluss entsprechend dominiert ausschließlich *Rhododendron ferrugineum* den Unterwuchs. Nur dort, wo *Alnus viridis*-Büsche eine schütterere Strauchschicht bilden, weicht die Alpenrose etwas zurück. (Entlang des Weges sind *Nardion*-Arten eingeschleppt worden.)

#### 4.1.2 Lys 2

Die Fläche Lys 2 in 2110 m ü. M. hat mit 1425 Bäumen pro Hektar eine deutlich höhere Bestandsdichte. Etwa 30% des Bestandes sind Fichten. Das maximale Baumalter beträgt 120 Jahre, erste einzelne Lärchen traten um 1870 auf, d. h. etwa 15 Jahre nach dem Rückgang des Eises. Erst um 1890 setzte die 30 Jahre andauernde eigentliche Besiedlungsphase ein. Zusammen mit weiteren einzelnen Lärchen etablierten sich ab 1915 zunehmend Fichten. Nach 1955 erfolgte keine weitere nachweisbare Verjüngung. Viele Bäume sind säbelwüchsig, der Totholzanteil der Lärchen ist sehr hoch. Während die Lärchen bis zu 17 m hoch sind, erreichen die Fichten nur Höhen von 1–4,5 m.

Im Bereich der 100 Subplots wachsen insgesamt 40 Arten. Im Vergleich zum Standort Lys 1 ist der Anteil an Kryptogamen mit 8 Moos- und 10 Flechtenarten sehr hoch. Vor allem Moose wie *Dicranum scoparium* spielen eine wichtige Rolle, doch auch hier ist *Rhododendron* der Hauptbestandsbildner im Unterwuchs. Als

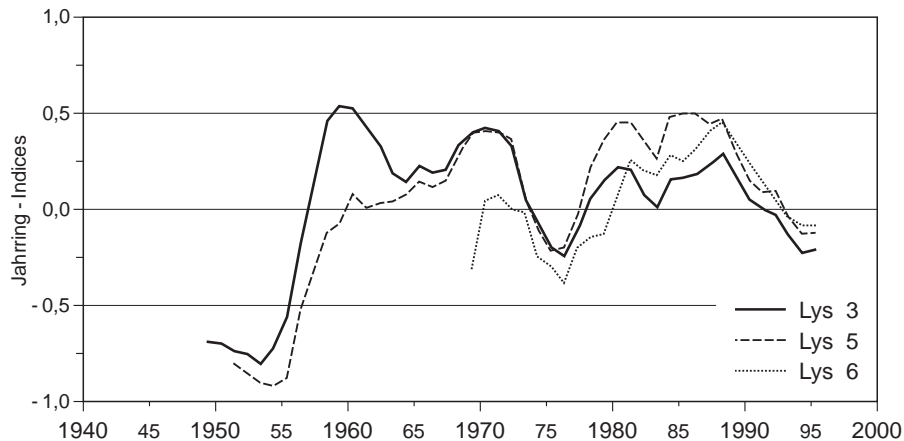


Abb. 6: Standardisierte und mit einem 5-jährigen gleitenden Mittel geglättete Jahrringkurven der Standorte Lys 3, 5 und 6  
Standardized and smoothed (5-year running mean) tree-ring curves of Lys 3, 5, and 6 sites

hochstete Art verdient ferner *Avenella flexuosa* besondere Erwähnung.

#### 4.1.3 Lys 3

Am Standort Lys 3 in 2220 m ü. M., der 50 m oberhalb der 1921er Moräne liegt, wachsen Gruppen von 1,2–4,5 m hohen, ausnahmslos blühenden Lärchen mit einer recht hohen Bestandsdichte von 900 Bäumen pro Hektar. Die erste Besiedlung beginnt um 1945, also nach einer Verzugszeit von etwa 20 Jahren. Der Bestand verdichtet sich dann kontinuierlich ab 1955 bis in die Mitte der 70er Jahre, danach erfolgt keine weitere Besiedlung. Die aus Stammscheiben und Bohrkernen erstellte Jahrringkurve zeigt für die ersten Jahre relativ schmale Jahrringe, die nach 1955, dem Beginn der eigentlichen Besiedlungsphase, deutlich breiter werden und sich bis 1985 auf relativ gleichem Niveau halten, was einen zunehmenden Zuwachs bedeutet (Abb. 6).

Auf den 50 Subplots wachsen 33 Arten, darunter 5 Moos- und 8 Flechtenarten. Bedeutend ist vor allem *Rhododendron ferrugineum*, der nur an Stellen mit hohem Blockschuttanteil Bestandslücken aufweist. Höchstet sind ferner *Racomitrium canescens*, *Stereocaulon alpinum* und *Agrostis schraderiana*.

#### 4.1.4 Lys 4

Der Standort Lys 4 in 2230 m ü. M. liegt wie Lys 2 innerhalb des Vorfeldes zwischen der 1860er und 1921er Randlege, aber nahe der 1717er Seitenmoräne (vgl. Abb. 2). Einzelne Lärchen etablierten sich ab 1885, also rund 10 Jahre später als am Standort Lys 2. Unter der Annahme einer gleichen Verzugszeit von

10–15 Jahren ist dieser Standort zwischen 1870 und 1875 eisfrei geworden. Die nachfolgende Besiedlung ausschließlich mit Lärchen erfolgt sehr sporadisch und endet um 1980. Die Zahl der Bäume ist gering und entspricht einer Bestandsdichte von 350 pro Hektar. So wie das Altersspektrum von 16- bis 110-jährigen Exemplaren reicht, streut auch die Höhe der Bäume zwischen 1,5 und 11 m. Insgesamt 39 Arten (7 Moos-, 8 Flechtenarten) gedeihen auf den 50 Subplots. Die wichtigsten Arten im Unterwuchs sind auch hier *Rhododendron ferrugineum* und *Avenella flexuosa*.

Die Jahrringkurven der beiden Standorte Lys 2 und Lys 4 haben einen annähernd synchronen Verlauf, die Korrelation beider Kurven untereinander sowie auch mit der Standortkurve Lys 1 ist hochsignifikant ( $p < 0,01$ ). Allerdings ist die Anzahl der dominanten Bäume am Standort Lys 4 sehr gering, so dass dieser Wert nur bedingten Aussagewert hat, aber zumindest den Trend wiedergibt. In der Jahrringkurve Lys 2 ist im Gegensatz zu der von Lys 1 kein Anzeichen eines Lärchenspannerbefalls für die Jahre 1912–14 festzustellen.

#### 4.1.5 Lys 5

Auf dem Standort Lys 5 in 2315 m ü. M. wurden 41 Lärchen und eine Fichte erfasst. Die Bestandsdichte entspricht 1050 Bäumen pro Hektar. Freistehende, bis 4 m hohe Einzelbäume sind selten. Statt dessen ist Rotenbildung zu beobachten, woraus sich ein starker Gegensatz zwischen vorwaldähnlichen, sehr dichten, 2–3 m hohen, meist 20–40 Jahre alten Baumgruppen und nahezu vegetationslosen, grobblockigen Flächen ergibt. Die ersten Lärchen treten zwischen 1949 und 1952 auf. Unter der Annahme eines gleichmäßigen

Gletscherrückganges (vgl. Abb. 3) ergibt sich eine Verzugszeit von 9–12 Jahren. Obwohl der Standort Lys 5 etwa 15 Jahre später eisfrei wurde als Lys 3, beträgt die Differenz der Erstbesiedlung zwischen beiden Standorten lediglich 3–5 Jahre. Die Jahrringkurven der beiden etwa gleich alten Bestände haben einen weitgehend übereinstimmenden Verlauf (Abb. 6), der in der Periode 1970–1995 besonders ausgeprägt ist und sich in einem hochsignifikanten Korrelationskoeffizienten von  $p < 0,01$  widerspiegelt. Auf den 40 Subplots gedeihen 54 Arten, darunter 6 Moos- und 7 Flechtenarten. Bedeutendste Arten sind *Agrostis schraderiana*, *Juncus jacquinii*, *Lotus alpinus* und *Rhododendron ferrugineum*.

#### 4.1.6 Lys 6

Der gletschernächste Standort Lys 6 liegt in einer Höhe von 2395 m, auf dem nur zwei Lärchen und eine Fichte gefunden wurde. Für die beiden Lärchen wurde ein Alter von 21 und 25 Jahren, für die Fichte ein Alter von 35 Jahren bestimmt. Zwei weitere Fichten außerhalb der Untersuchungsfläche hatten ein Alter von 37 und 39 Jahren (Photo 3). Unter der Annahme, dass das Gelände etwa 1955 eisfrei wurde, erfolgte die Besiedlung bereits 3–5 Jahre nach Freigabe des Geländes, und zwar zunächst durch Fichten. Im Gegensatz zum Standort Lys 5 mit seiner nach 1955 verstärkt einsetzenden Besiedlung erfolgt diese am 300 m entfernt und 80 m höher liegenden Standort Lys 6 nur sehr sporadisch und endet wie am Standort Lys 3 Mitte der 1970er Jahre. Die 0,4 bis 1,9 m hohen Bäume wachsen im Schutz größerer Steine. Die Fichten sind alle von geringerer Wüchsigkeit, die sowohl durch die geringere Baumhöhe als auch an den geringen Jahrringbreiten zu erkennen ist. Die Jahrringkurve (aus allerdings nur zwei Lärchen) zeigt eine gute Übereinstimmung mit denen der Standort Lys 3 und Lys 5 (Abb. 6).

Die 50 Subplots zeigen eine relativ artenarme Kraut- und Kryptogamenschicht (35 Arten, darunter 4 Moos- und 6 Flechtenarten). Hochstet sind *Achillea moschata*, *Agrostis schraderiana* und *Polytrichum piliferum*. *Agrostis schraderiana* hat einen deutlichen Verbreitungsschwerpunkt unter *Larix decidua* und *Salix caprea*, während die beiden anderen Arten vorzugsweise echte Pionierstandorte besiedeln und unter *Larix* ihre einzigen Verbreitungslücken aufweisen.

#### 4.2 Vegetations-Klassifikation der Subplots

Klasse 1 (Abb. 7) umfasst 49 Aufnahmen und ist fast ausschließlich auf die Fläche Lys 6 beschränkt. Häufigste Arten sind *Achillea moschata*, *Agrostis schraderiana*, *Sempervivum montanum*, *Stereocaulon alpinum* und *Polytrichum*

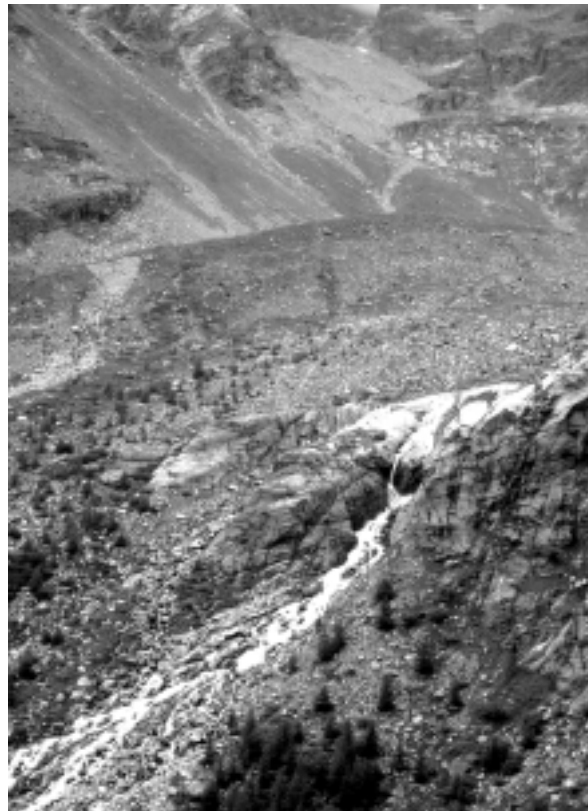


Photo 3: Baumgrenze im Vorfeld bei ca. 2400 m

Tree limit in the outwash plain of the glacier, at ca. 2400 m

*piliferum*, die bezeichnende Art dieser Klasse. Ebenfalls häufig, aber weniger spezifisch sind *Racomitrium canescens*, *Cladonia pyxidata*, *Juncus jacquinii* und *Lotus alpinus*. *Rhododendron ferrugineum* und *Hypnum cupressiforme* fehlen, während *Salix sp.* (*S. helvetica*, *S. caprea*, *S. breviserrata*, *S. foetida*) in ihrer Gesamtheit eine bedeutende Rolle spielen.

In Klasse 2 (Abb. 7) sind die 39 Aufnahmen ebenfalls nur auf eine Fläche, nämlich Lys 5, konzentriert. *Salix helvetica*, *Salix foetida*, *Rhododendron ferrugineum* und *Calluna vulgaris* bilden gemeinsam die Strauch- bzw. Zwergstrauchschicht unter eingestreuter *Larix decidua*. Regelmäßige Begleiter sind *Agrostis schraderiana*, *Juncus jacquinii* und *Deschampsia flexuosa* sowie die Kryptogamen *Racomitrium canescens*, *Cladonia pyxidata*, *Hypnum cupressiforme* und *Polytrichum formosum*.

In den 105 Aufnahmen der Klasse 3 (Abb. 7), die sich auf die Flächen Lys 4 und Lys 3 verteilen, erzielt *Larix decidua* (zusammen mit relativ steter *Salix appendiculata* und *Salix helvetica*) eine nennenswerte Durchschnittsdeckung über einer schütter ausgebildeten Zwergstrauchschicht mit *Rhododendron ferrugineum*, *Calluna vul-*

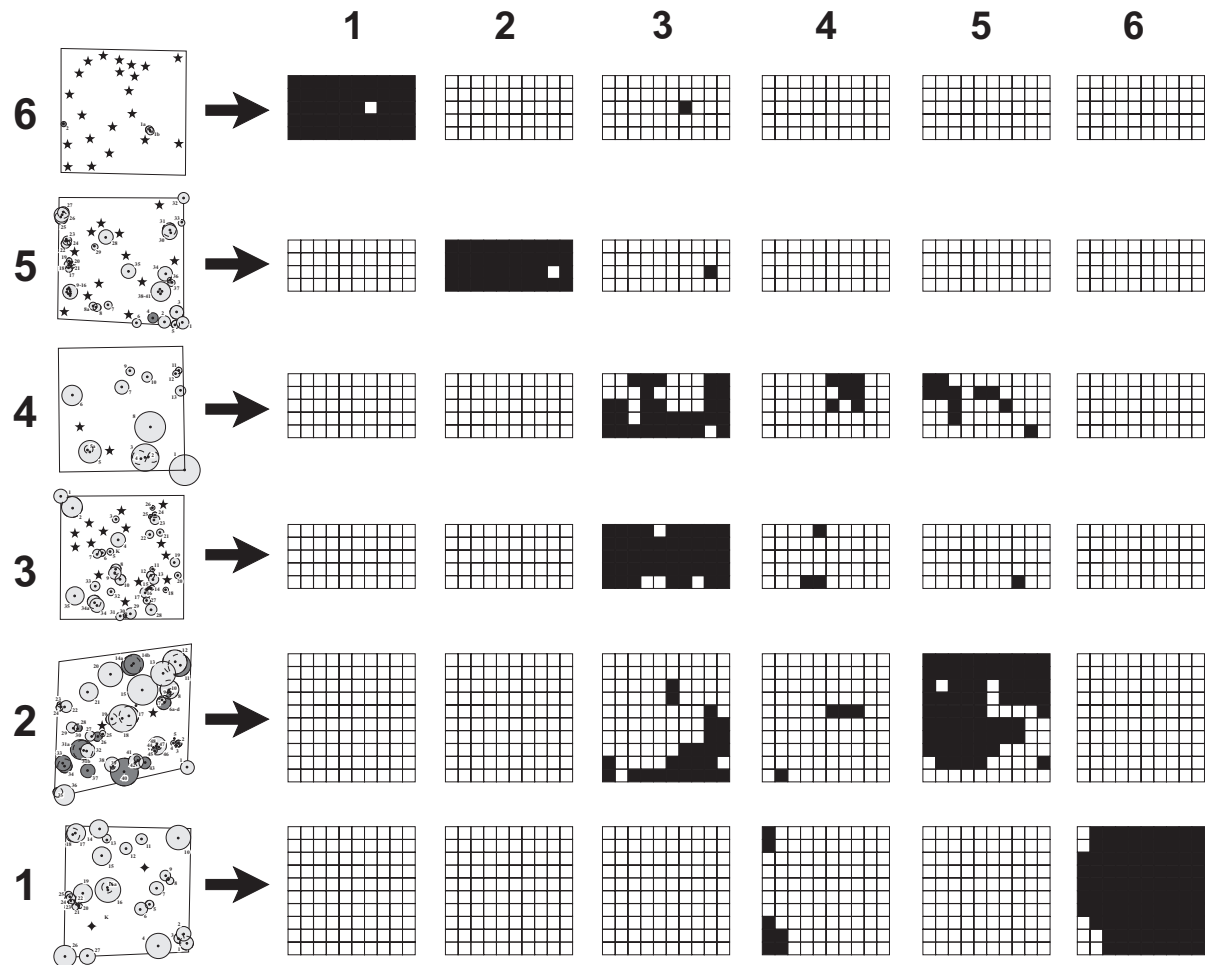


Abb. 7: Skizzen der sechs Untersuchungsflächen Lys 1 bis Lys 6 (linke Spalte) mit den Verbreitungsmustern der errechneten mikrosoziologischen Klassen (Erläuterungen im Text)

Sketches of the six study sites Lys 1 to Lys 6 (left hand column) showing spatial patterns of calculated micro-sociological classes (see text for further explanation)

*garis* und *Vaccinium uliginosum*. Kennzeichnend ist hier jedoch die Bedeutung der Kraut-Gras-Schicht (*Sempervivum montanum*, *Lotus alpinus*, *Festuca varia*, *Deschampsia flexuosa*, *Agrostis schraderiana*) und vor allem der reichen Kryptogamenschicht (*Bryum argenteum*, *Polytrichum formosum*, *Stereocaulon alpinum*, *Cladonia pyxidata*, *Cladonia squamosa*, *Hypnum cupressiforme*, *Dicranum scoparium*).

Die kleinste und artenärmste Klasse 4 (Abb. 7), deren 21 Aufnahmen auf die Flächen Lys 1, 2, 3 und 4 verstreut sind, steht ganz im Zeichen der Dominanz von *Larix decidua* und *Rhododendron ferrugineum*. Relativ stete Begleiter sind *Deschampsia flexuosa* und *Hypnum cupressiforme*, mit Einschränkungen auch *Sempervivum montanum*.

Klasse 5 (Abb. 7), deren 83 Aufnahmen überwiegend auf der Fläche Lys 2 liegen, ähnelt mit der hohen Ste-

tigkeit von *Rhododendron* und *Deschampsia flexuosa* den Klassen 4 und 6, zeichnet sich aber durch eine wesentlich reichere Kryptogamenschicht (v. a. *Bryum argenteum*, *Dicranum scoparium*, *Hypnum cupressiforme*, *Racomitrium canescens*, *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*) aus, die mit z. T. sehr hohen Stetigkeiten auftreten. Nur wenige Kräuter wie *Hieracium sylvaticum*, *Lotus alpinus* und *Sempervivum montanum* erscheinen regelmäßig.

Die Aufnahmen der Klasse 6 konzentrieren sich vor allem auf die Fläche Lys 1 (Abb. 7). *Rhododendron ferrugineum* (durchschnittliche Deckung: 70,1%!) und *Hypnum cupressiforme* sind mit höchster Stetigkeit vertreten. Höchstet sind ferner *Agrostis schraderiana*, *Deschampsia flexuosa* und der stark differenzierende *Peucedanum ostruthium*, der ebenso wie *Solidago virgaurea* und *Chaerophyllum hirsutum* nur hier vorkommt. Auch *Epilobium angustifolium*



Photo 4: Geschlossener *Rhododendron ferrugineum*-Unterwuchs im beweideten Lärchenwald auf Fläche Lys 1  
Closed *Rhododendron ferrugineum* understorey in the grazed larch woodland on Lys 1 plot

und *Vaccinium myrtillus* sind als typisch für diese Klasse zu bezeichnen, die eine insgesamt sehr reiche Krautschicht aufweist.

## 5 Diskussion

### 5.1 Wiederbewaldung und Bestandsentwicklung

Die Wiederbewaldung des Vorfeldes des Lysgletschers im 19. und 20. Jahrhundert erfolgt in drei Phasen, die durch die Gletscherhochstände von 1821, 1860 und 1921 bestimmt und durch die entsprechenden Zeitlücken von etwa 40 bzw. 60 Jahren voneinander getrennt sind. Der Gang der Besiedlung weist für diese drei Phasen charakteristische Unterschiede auf.

In der ersten Phase erstreckt sich die initiale sporadische Besiedlung nach dem 1821er Gletscherstand über einen Zeitraum von 25–30 Jahren. Die Kürze dieser Periode ist eine Folge des seit 1842 wieder vorrückenden Gletschers und der zeitgleichen relativ niedrigen Sommertemperaturen. Erst mit dem raschen Rückgang des Gletschers nach 1860 und mit den steigenden Sommertemperaturen setzt die 50–60 Jahre anhaltende kontinuierliche und bestandsbildende Besiedlung ein, die um 1920 endet.

Die zweite Phase der Wiederbewaldung vollzieht sich auf dem Gletschervorfeld, das sich zwischen der 1860er und 1921er Moräne über eine Horizontaldistanz von etwa 800 m bei einem Höhenunterschied von 100 m erstreckt. Die Erstbesiedlung erfolgt zwar überall etwa 10–15 Jahre nach Freigabe des Geländes, die

Kontinuität und Intensität der nachfolgenden Besiedlung wird jedoch bergwärts maßgeblich durch die Nähe zum Gletscher beeinflusst, dessen Lage bei oszillierenden Bewegungen zwischen 1882 und 1921 relativ konstant bleibt (vgl. Abb. 3).

Während im gletscherferneren Teil (repräsentiert durch den Standort Lys 2) eine kontinuierliche, mehr als 50 Jahre andauernde intensive Bestandsverdichtung stattfindet (vgl. Photo 4), erfolgt die Besiedlung im gletschnäheren Teil im gleichen Zeitraum nur sporadisch. Die Waldbestände sind hier nicht nur offener, sondern haben auch eine Bestandsstruktur, die durch große zeitliche Lücken gekennzeichnet ist (Standort Lys 4). Neben der Nähe zum Gletscher können für diese unterschiedlichen Besiedlungsprozesse auch die zunehmende Entfernung von Samenquellen (als solche kommen u. a. die herangewachsenen Lärchen am Standort Lys 1 in Frage) sowie unterschiedliche Substratverhältnisse der Moränendecke verantwortlich sein. Das Gebiet um Lys 4 ist nämlich durch einen großen Blockreichtum und nur wenige Feinmaterialinseln gekennzeichnet.

Im Gebiet zwischen den Gletscherständen von 1821 und 1860 treten einzelne Lärchen zwar schon 10–15 Jahre nach der Freigabe des Geländes auf, die eigentliche bestandsbildende Besiedlung setzt jedoch nochmals 10–20 Jahre später ein. Sie erfolgt in einzelnen Schüben, die an den benachbarten Standorten Lys 1 und 2 jedoch nicht synchron sind und durchwegs nicht mit Perioden besonders günstiger Sommertemperaturen im Einklang stehen. Lediglich für die Periode 1865–1875 ist für den Standort Lys 1 eine Überein-

stimmung zwischen relativ hohen Sommertemperaturen und Besiedlungsintensität festzustellen.

Als Folge der oszillierenden Gletscherbewegungen zwischen 1882 und 1921 wird erst nach dem 1921er Gletscherstand das Gelände endgültig für eine Vegetationsentwicklung frei. Bezogen auf die 1860er Moräne startet nach einer Zeitlücke von etwa 60 Jahren oberhalb der 1921er Moräne die 3. Phase der Wiederbewaldung. Die Verzugszeit der Erstbesiedlung knapp oberhalb der 1921er Moräne beträgt zunächst mehr als 20 Jahre (Lys 3) und kann mit den relativ niedrigen Frühsommertemperaturen zwischen 1925 und 1940 in Beziehung gebracht werden. In diesem Zeitraum ist auch die Besiedlung im tiefergelegenen Vorfeld der 1921er Moräne (im Bereich von Lys 4) nur sehr sporadisch.

An den gletschernäheren Standorten Lys 5 und Lys 6 fällt das initiale Besiedlungsstadium in die durch überdurchschnittliche Sommertemperaturen gekennzeichnete Periode zwischen 1945 und 1955. Die Verzugszeiten betragen hier weniger als 5 Jahre. Während auf den gletscherferneren Flächen eine kontinuierliche Besiedlung stattfindet, bleibt sie in den höheren Lagen nur sporadisch. Der Grund dafür dürfte der erneute Eisvorstoß von 1972–1985 sein, der mit einer Reihe von Jahren mit sehr niedrigen Sommertemperaturen zusammenfällt.

Trotz des erneuten Anstiegs der Sommertemperaturen ab 1985 (vgl. Abb. 4) und dem damit einhergehenden Gletscherrückgang sind im gesamten Vorfeldbereich zwischen der 1921er und 1985er Moräne nach 1980 keine mehrjährigen Sämlinge festzustellen. Die wenigen Gunststandorte für eine dauerhafte Baumbesiedlung scheinen vorerst besetzt zu sein. Allerdings wurden 1995 in der Nähe des Gletschertores in 2450–2470 m ü. M. ein- bis zweijährige Lärchenkeimlinge entdeckt, deren Fortbestand auf Dauer wohl nicht erfolgreich sein wird. Denn die für Baumwuchs notwendigen Sommertemperaturen mit einer Juli-Mitteltemperatur von 10°C wurden in dieser Höhenlage bisher nur in einzelnen Jahren erreicht bzw. überschritten. Die Grenze einer dauerhaften Baumausbreitung scheint damit bei den derzeit vorhandenen Standort- und Klimaverhältnissen mit den überdurchschnittlichen Sommertemperaturen der letzten Dekade erreicht zu sein. Sie ist mit derzeit 2400 m ü. M. am Standort Lys 6 ohnehin schon deutlich höher als die regionale Baumgrenze, die etwa zwischen 2150 und 2200 m ü. M. liegt (BÖSCHE 1996).

Für die beiden älteren Wiederbewaldungsphasen (repräsentiert durch Lys 1 bzw. Lys 2 und 4) ist festzustellen, dass sich die kontinuierliche Bestandsentwicklung über einen Zeitraum von 50–60 Jahren erstreckt

und dann abbricht. Während sich also in den älteren Beständen keine weiteren Baumkeimlinge etablieren, hat gleichzeitig der Besiedlungsprozess an den nächst jüngeren Standorten gerade erst begonnen oder hält noch viele Jahre an.

Dieses anscheinend regelhafte Phänomen ist auf die Bestands- und Vegetationsentwicklung selbst zurückzuführen. Innerhalb von 50–60 Jahren verdichtet sich der Bestand. Es kommt zur Bildung einer zunehmend geschlossenen Vegetationsdecke, so dass die Bedingungen für ein erfolgreiches Aufwachsen der Baumkeimlinge immer ungünstiger werden. Auch die Beweidung, die durch das dominante Vorkommen von *Rhododendron ferrugineum* angezeigt wird, wirkt sich durch Verbiss oder Vernichtung negativ auf eine weitere Bestandsverdichtung aus. In offenen und blockreichen Beständen wie im Bereich von Lys 4 hält dagegen die Besiedlung, wenn auch nur sporadisch, über einen viel längeren Zeitraum an.

Generell besteht im waldgrenznahen Bereich eine eindeutige Beziehung zwischen den Jahrringchronologien und den Sommertemperaturen. Im Vorfeld des Lysgletschers gilt das nur in sehr eingeschränkter Weise. Eine signifikante Korrelation ( $p < 0,1$ ) zwischen der Jahrringbreite und der Juli- bzw. der mittleren Juni-August-Temperatur ergibt sich nur für den Standort Lys 1, und zwar erst für die Periode ab 1940. Zu diesem Zeitpunkt waren etwa 100 Jahre seit der initialen Besiedlung vergangen; der Gletscherrand war rund 1000 m entfernt.

Dieser Befund legt die Vermutung nahe, dass die Entfernung des jeweiligen Standortes zum Gletscher bzw. die Reichweite des Gletschereinflusses maßgeblich die Wirksamkeit des regionalen Klimas überdeckt. Während die Standortkurven von Lys 2 und 4 für die letzten 20–30 Jahre immerhin eine schwache, aber nicht signifikante Korrelation zwischen Jahrringbreite und den Sommertemperaturen erkennen lassen, zeigen die Standortkurven von Lys 3, 5 und 6, die gegenwärtig rund 540, 370 bzw. 150 m vom derzeitigen Eisrand entfernt liegen, überhaupt noch keinen Zusammenhang mit dem Regionalklima.

Bemerkenswert ist, dass sowohl die Chronologien Lys 1, 2 und 4 der 1. und 2. Wiederbesiedlungsphase für die Periode ab 1930 als auch die Chronologien von Lys 3, 5 und 6 der 3. Wiederbesiedlungsphase jeweils untereinander einen weitgehend übereinstimmenden Verlauf zeigen (vgl. Abb. 5 und 6). Aus dem Vergleich aller Standortkurven lässt sich herauslesen, dass sich diese Übereinstimmung zwischen älteren und jüngeren mit einer gewissen Zeitverzögerung einstellt. Sie ergibt sich vermutlich daraus, dass für die ersten Lebensjahre der Sämlinge eher mikroklimatische Bedingungen be-

Tabelle 2: Korrelationen zwischen den Jahrringkurven der Standorte Lys 1 bis Lys 5 für den Zeitraum 1960 bis 1990

Correlation between the tree-ring curves of sites Lys 1 to Lys 5 for the period 1960 to 1990

Lys	1	2	4	3	5
1	–	0,465**	0,714***	0,429*	0,469**
2		–	0,632***	0,628***	0,163
4			–	0,745***	0,529**
3				–	0,431*
5					–

\* p < 0,05

\*\* p < 0,01

\*\*\* p < 0,001

stimmend sind. Nachdem diese Etablierungsphase der Lärchensämlinge auch an den Standorten Lys 3 und 5 vorüber ist, ergibt sich ab 1960 ein synchroner Verlauf für alle Standortkurven, der sich auch in den zum Teil hochsignifikanten Korrelationen manifestiert (Tab. 2).

Aus den beschriebenen Beziehungen zwischen Jahrringchronologien und Sommertemperaturen lassen sich zwei Schlussfolgerungen ziehen: 1. Der durch die Gletschnähe geprägte lokale Klimaeinfluss ist für die Bestands- und Vegetationsentwicklung prägender als der regionale. 2. In Abhängigkeit von der Gletschnähe ist der lokale Klimaeinfluss so einheitlich, dass die einmal etablierten Baumindividuen innerhalb des gleichen Areals auch einheitlich darauf reagieren, was sich in den weitgehend synchronen Jahrringchronologien widerspiegelt. Vor diesem Hintergrund ist es auch nicht verwunderlich, dass sich die in einzelnen Schüben erfolgte Bestandsentwicklung nicht regionalklimatischen Gunstperioden zuordnen lassen.

## 5.2 Vegetationsentwicklung und Mikrozoologie

Für die Erklärung der Vegetationsstrukturen im Unterwuchs ist das Alter der Standorte offensichtlich nur einer unter vielen zu berücksichtigenden Faktoren. Wenn alle sechs Standorte so unterschiedlich wären wie ihre Entstehungszeitpunkte, hätte sich dies in der Berechnung der sechs mikrozoologischen Klassen niederschlagen müssen, indem jede Klasse einem Plot entspricht. So aber zeigt sich, dass die Vegetationsentwicklung im Gletschervorfeld nicht kontinuierlich, sondern mosaikartig verläuft (vgl. Abb. 7). Dabei finden sich schon in jungen Rückzugsstadien relativ hochentwickelte „Waldstandorte“, während im augenscheinlich geschlossenen Wald noch immer Elemente initialer Sukzession anzutreffen sind. Die Chronosequenz wird also regelmäßig vom Wirken der Standortfaktoren überlagert. Solche Standortfaktoren sind z. B. die unterschiedliche Verbreitung von fein- bzw. grobkörnigem

Substrat mit entsprechendem Einfluss auf den Wasserhaushalt, das Kleinrelief aus großen Blöcken und Moränenschutt mit Auswirkungen auf den Wärmehaushalt, das Windfeld und die Schneedecke. Die Vegetationsentwicklung im Gletschervorfeld wird also nicht nur von den lokalen und regionalen Klimaverhältnissen beeinflusst, sondern auch maßgeblich durch ein komplexes Wirkungsgefüge von Umweltvariablen gesteuert, das eine kontinuierliche, homogene Sukzession nicht zulässt.

Betrachtet man anstelle der Baumentwicklung die Gesamtentwicklung der Pflanzendecke, stellt sich heraus, dass die Verteilung vieler Arten im Unterwuchs auch nicht allein von der Baumschicht abhängen kann. Die mikrozoologische Klasse 1 steht zwar noch ganz im Zeichen der weitgehenden Abwesenheit von Bäumen, im Vergleich zu den anderen Klassen aber vor allem im Zeichen der Abwesenheit von *Rhododendron ferrugineum*. Hier gedeihen noch viele lichtbedürftige Arten, die unter einem dichten *Rhododendron*-Dach nicht überleben können. *Achillea moschata* und *Polytrichum piliferum* gehören zu den Erstbesiedlern des vom Eis freigegebenen Substrates (vgl. BÖSCHE 1996). Das Erscheinen von *Sempervivum montanum* und *Stereocaulon alpinum* markiert den Übergang von der Initialphase der Sukzession zu einer ersten Aufbauphase (vgl. BÖHMER 1999). Physiognomisch kennzeichnend für diese Phase ist das Erscheinen verschiedener Weidenarten, unter denen *Salix helvetica* bezüglich Abundanz und Deckung die mit Abstand bedeutendste ist. Lys 6 ist noch stark von *Salix*-Arten geprägt. Mit dem Erscheinen von Bäumen steht Lys 6 am Übergang zur Aufbauphase 2.

In der Aufbauphase 2 (vgl. Klasse 2) treten zwei wesentliche Strukturelemente hinzu. Da ist zum einen die schon relativ große Bedeutung junger Bäume (Deckung um 20%), zum anderen die Entwicklung einer Zwergstrauchschicht (Deckung um 30%) mit *Rhododendron ferrugineum* und *Calluna vulgaris*. Gleichzeitig sind noch Strukturelemente der ersten Aufbauphase (*Salix helvetica*, *Salix foetida*) und der Initialphase (z. B. *Juncus jacquinii*, *Achillea moschata*) eingestreut. Echte Pioniere wie *Polytrichum piliferum* oder *Saxifraga sp.* kommen bereits nicht mehr vor. Signifikant ist das Erscheinen von *Hypnum cupressiforme*, einer Art, die exemplarisch für den determinierenden Einfluss von *Rhododendron ferrugineum* auf die Kryptogamenschicht steht.

Unter den errechneten mikrozoologischen Klassen zeigt Klasse 3 die breiteste Streuung im Gletschervorfeld. Sie ist zwar die eigentlich typische Klasse für die Untersuchungsfläche Lys 3, doch erscheint dieser Typus bereits auf Fläche 6 und ist noch bis zur Fläche 2 von Bedeutung. Bezeichnend ist hier das Nebeneinander unterschiedlichster Strukturelemente sowie die weitere



Photo 5: Junger Lärchenwald im Bereich der Fläche Lys 2  
Young larch woodland in the area of Lys 2 plot

Differenzierung der Vegetationsschichten. *Salix sp.* spielen noch immer eine Rolle zwischen den zunehmend dicht stehenden Lärchen. Unter den Zwergsträuchern baut *Rhododendron ferrugineum* seine Vormachtstellung aus, während *Calluna vulgaris* bereits zurückgedrängt wird. Daneben finden *Vaccinium uliginosum* und *Vaccinium vitis-idaea* Ansiedlungsmöglichkeiten. Kraut- und Kryptogamenschicht sind bemerkenswert artenreich. Unter den Gräsern ergänzt *Festuca varia* die weiter verbreiteten *Agrostis schraderiana* und *Deschampsia flexuosa*. *Polytrichum formosum*, *Bryum argenteum*, *Stereocaulon alpinum*, *Cladonia pyxidata* und *Cladonia squamosa* erreichen ihr Optimum. Als Charakteristikum der Aufbauphase 3 ist demnach die schichtinterne Differenzierung festzuhalten.

In Aufbauphase 4, die gleichzeitig den Höhepunkt der Bestandsverdichtung in der Baumschicht markiert, fallen viele Strukturelemente der frühen Besiedlungsstadien aus. *Salix sp.* sind fortan ohne Bedeutung, nur wenige Vertreter der Kraut-Gras- bzw. Kryptogamenschicht kommen mit den extrem schattigen Bedingungen, der hohen Streuauflage und dem enormen Wurzeldruck zurecht. Einzig stete Arten sind hier die äußerst anspruchslosen *Deschampsia flexuosa* und *Hypnum cupressiforme*. Stattdessen erreichen *Larix decidua*, *Picea abies* und *Rhododendron ferrugineum* maximale Deckungswerte. Hier hat die artenarme Klasse 4 ihren Verbreitungsschwerpunkt, doch ist auch Klasse 5 in diesem Kontext zu sehen. Zu dieser Klasse gehören die etwas lichter Standorte zwischen Baumgruppen und *Rhododendron*-Gestrüpp, die einen artenreicheren Unterwuchs zulassen. Mit *Dicranum scoparium*, *Vaccinium myrtillus* und *Hieracium sylvaticum* treten echte Waldarten in Erschei-

nung. Daneben gibt es noch immer schütter bewachsene, leicht erhöhte und extrem trockene Geländeabschnitte, auf denen lichtbedürftige Spezialisten wie *Sempervivum sp.* oder *Lotus alpinus* noch in dieser Phase der Waldentwicklung siedeln können.

Ein enormer Sprung in der Waldentwicklung vollzieht sich zwischen Lys 2 und Lys 1. Dafür gibt es mindestens zwei Gründe. Erstens haben sich die Bäume auf der ältesten Untersuchungsfläche zu einem ausgesprochenen Hochwald ausgewachsen, zu dessen Strukturelementen weder Sträucher noch Offenstandorte gehören. Zweitens unterliegt dieser Wald einem Beweidungseinfluss, welcher den Gang der natürlichen Waldentwicklung, wie sie sich auf Lys 2 mit der Ablösung von *Larix decidua* durch *Picea abies* andeutet, in eine andere Richtung lenkt.

Zudem macht sich auf Lys 1 der Einfluss des schon nahe heranverlagerten Flusslaufes bemerkbar: Die ausschließlich hier verbreitete Klasse 6 ist vor allem durch Hochstauden und *Alnus viridis* charakterisiert. Die mächtigen Lärchen sind so weitständig, dass sie für die Differenzierung des Unterwuchses kaum eine Bedeutung haben. Anstelle der Baumschicht determiniert der selektiv unterbeweidete *Rhododendron ferrugineum* die Verbreitung des schmalen Artenspektrums, in dem neben *Epilobium angustifolium* die typischen Vertreter der *Rhododendron*-Welt, *Deschampsia flexuosa* und *Hypnum cupressiforme*, den Hauptanteil stellen. Dieses Stadium, in dem die Lärchen optimal entwickelt sind, wird als „gestörte Terminalphase“ angesehen. Der Terminus „gestört“ bezieht sich auf das anthropogene Fehlen von *Picea abies*, die zu diesem Zeitpunkt der Waldentwicklung

bereits am Aufbau der Baumschicht beteiligt wäre, und die ebenfalls anthropogene Übermacht von *Rhododendron ferrugineum* (vgl. Photo 5). Auch das Fehlen von *Pinus*

*cembra* dürfte auf die ehemalige massive Übernutzung der Art im Tal zurückzuführen sein (RAUSCH 1996; BÖHMER et al. 1998).

### Literatur

- BACHMANN, R. C. (1978): Gletscher der Alpen. Bern.
- BÄUMLER, E. (1988): Untersuchungen zur Besiedlungsdynamik und Populationsbiologie einiger Pionierpflanzen im Morteratschvorfeld. Diss. Univ. Basel.
- BIANCOTTI, A. u. MERCALLI, L. (1991): Variazioni climatiche a breve termini (1927–89) a Gressoney (Valle di Aosta, Italia) 1850 m s.l.m. *Rev. Valdotaïne Hist. Nat.* 45, 5–19.
- BÖHMER, H. J. (1999): Vegetationsdynamik im Hochgebirge unter dem Einfluß natürlicher Störungen. Diss. Bot. 311. Berlin/Stuttgart.
- BÖHMER, H. J.; RAUSCH, S. u. TRETER, U. (1998): Dynamik eines Bergwaldes am Monte Cimino (Valle di Gressoney/Aosta). In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 30 (10), 309–315.
- BÖSCHE, H. (1996): Die Vegetation im Vorfeld des Lys-Gletschers (Valle di Gressoney/Aosta) unter besonderer Berücksichtigung der jüngeren Rückzugsstadien. Unveröffentl. Diplomarbeit (Institut für Geographie), Erlangen.
- BURGA, C. (1999): Vegetation development on the glacier forefield Morteratsch/Switzerland. In: *Applied Vegetation Science* 2, 17–24.
- FRIEDEL, H. (1938): Die Pflanzenbesiedlung im Vorfeld des Hintereisferners. In: *Zeitschrift für Gletscherkunde* 26, 215–239.
- HÄBERLI, W.; HOETZLE, M.; SUTER, S. u. FRAUENFELDER, R. (Eds.) (1998): *Fluctuations of Glaciers*. IHS (ICSI) / UNEP / UNESCO, Paris.
- HELM, D. J. a. ALLEN, E. B. (1995): Vegetation Chronosequence near Exit Glacier, Kenai Fjords National Park, Alaska, USA. In: *Arctic and Alpine Research* 27, 246–257.
- JOCHIMSEN, M. (1970): Die Vegetationsentwicklung auf Moränenböden in Abhängigkeit von einigen Umweltfaktoren. In: *Veröff. Univ. Innsbruck* 46, 1–21.
- LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten. In: SCHMID, W. (Hg.): *Sukzessionsforschung*, 613–617. Vaduz.
- LÜDI, W. (1944): Besiedlung und Vegetationsentwicklung auf den jungen Seitenmoränen des großen Aletschgletschers. In: *Ber. Geobot. Inst. Rübel* 1944, 35–112.
- (1958): Beobachtungen über die Besiedlung von Gletschervorfeldern in den Schweizer Alpen. In: *Flora* 146, 386–407.
- MCCARTHY, D. P.; LUCKMAN, B. H. a. KELLY, P. E. (1991): Sampling Height-Age Error Correction for Spruce Seedlings in Glacial Forefields, Canadian Cordillera. In: *Arctic and Alpine Research* 23, 451–455.
- MATTHEWS, J. A. (1978): Plant colonisation patterns on a gletschervorfeld, southern Norway: a meso-scale geographical approach to vegetation change and phytometric dating. In: *Boreas* 3/78, 155–178.
- (1992): *The ecology of recently deglaciated terrain*. Cambridge.
- MONTERIN, H. (1924): La valle di Gressoney e la sua geomorfologia. In: *Societa de la Flore Valdotaïne, Boll.* 17, 91–126.
- MONTERIN, W. (1991): *Variazioni del ghiacciaio del Lys dall'anno 1812 ai nostri giorni*. – o. A.
- MUELLER-DOMBOIS, D. a. ELLENBERG, H. (1974): *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York.
- RAMSBECK, M. (1996): *Dendrochronologische Untersuchungen der Waldbestände im Bereich der älteren Rückzugsstadien des Lys-Gletschers (Valle di Gressoney/Aosta)*. Unveröffentl. Diplomarbeit (Institut für Geographie), Erlangen.
- RAUSCH, S. (1996): *Struktur und Entwicklungsdynamik des Bergwaldes am Monte Cimino (Valle di Gressoney/Aosta)*. Unveröff. Diplomarbeit (Institut für Geographie), Erlangen.
- RICHTER, M. (1994): *Die Pflanzensukzession im Vorfeld des Tschierva-Gletschers/Oberengadin*. In: *Geoökodynamik* 1/94, 55–88.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1983): *Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie*. Bern, Stuttgart.
- (1993): *Jahrringe und Umwelt – Dendroökologie*. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- STÖCKLIN, J. a. BÄUMLER, E. (1996): Seed rain, seedling establishment and clonal growth strategies on a glacier foreland. In: *Journal of Vegetation Science* 7, 45–56.
- STRADA, E. (1988): *Le variazioni del ghiacciaio del Lys dalla "Piccola Glaciazione" ai nostri giorni*. In: *Natura Bresciana, Ann. Mus. Civ. Sc. Nat.* 24, 275–288.
- TRETER, U. (1992): *Entwicklung der Vegetation und Bestandsstruktur auf Waldbrandflächen des Flechten-Fichten-Waldlandes in Zentral-Labrador/Kanada*. In: *Die Erde* 123, 235–250.