

Ausmass und Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation der Schweiz im Laufe der Jahrtausende

WILLY TINNER, BRITTA ALLGÖWER, BRIGITTA AMMANN, MARCO CONEDERA, ERIKA GOBET, ANDRÉ F. LOTTER und MARKUS STÄHLI

Keywords: Forest fires; vegetation; forest history; Switzerland. FDK 182.1 : 43 : (494)

Einleitung

Waldbrände treten in Mitteleuropa eher selten auf. Nur in Jahren mit extrem warm-trockener Witterung wie z.B. im Sommer 2003 (LUTERBACHER *et al.* 2004) werden Wälder durch Feuer betroffen. Der menschliche Einfluss auf die Landschaft ist in dieser Region seit Jahrtausenden sehr stark, deshalb ist es schwierig, die Bedeutung natürlicher Waldbrände abzuschätzen. Gängigerweise wird für Mitteleuropa und die Alpen davon ausgegangen, dass Feuerstörungen unter natürlichen Bedingungen eine unbedeutende Rolle spielen (ELLENBERG 1996). Dies erklärt auch, weshalb die Feuerökologie in Mitteleuropa bisher kaum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen war. Feuergeschichtliche Forschungen zeigen jedoch, dass die Waldbrandhäufigkeiten in Mitteleuropa in vorgeschichtlicher Zeit viel höher waren als heute (CLARK *et al.* 1989). Beispielsweise nahm die Waldbrandhäufigkeit im Neolithikum (5500 bis 2200 v.Chr.) stark zu, als in Süddeutschland mittels Brandrodung erstmals landwirtschaftliche Flächen geöffnet wurden. Aus dem Schweizerischen Mittelland standen bis anhin nur wenige, teilweise bruchstückhafte feuergeschichtliche Zeitreihen zur Verfügung (z.B. HAAS 1996; RICHOSZ 1998; HAAS & HADORN 1998). Aus den Nord- und Zentralalpen fehlten feuergeschichtliche Untersuchungen bis vor kurzem beinahe vollständig (STÄHLI *et al.*), währenddem die Feuergeschichte der Südalpen seit über 10 Jahren intensiv untersucht wird (z.B. DELARZE *et al.* 1992; BERLI *et al.* 1994; CONEDERA *et al.* 1996; TINNER *et al.* 1998; TINNER *et al.* 1999). Bezeichnenderweise behandelte eine Langzeitstudie zur Vegetationsgeschichte des Unterengadins, des Schweizerischen Nationalparks und des Münstertals die Frage kaum, ob Feuer ein entscheidendes Element war oder nicht (WELTEN 1982). Die unterschiedlichen Forschungsstände in den Regionen widerspiegeln die Bedeutung der Waldbrände, aber auch die Beachtung, welche ihnen zukommt. In der Schweiz ereignet sich die Mehrheit der Waldbrände in der Südschweiz: im Tessin sowie in den Bündner und Walliser Südtälern. Die Zentralalpen nehmen in Bezug auf die Feuerfrequenz eine Mittelstellung zwischen

Mittelland/Nordalpen und Südalpen ein; z.B. traten im ganzen Kanton Graubünden jährlich zwischen 25 und 45 Waldbrände auf (LANGHART *et al.* 1998; KALTENBRUNNER 2004). In der Südschweiz sind die Feuerhäufigkeiten nicht wesentlich tiefer als im Mittelmeergebiet. Zwischen 1961 und 1980 erreichte die Feuerrotationsperiode (d.h. die theoretische Zeitspanne, nach der 100% der Waldfläche verbrannt ist) in den Tieflandwäldern des Sottoceneri Werte von nur 100 Jahren, während sie in den 1980er-Jahren auf 270 Jahre reduziert werden konnte. Die entsprechenden Werte für das Mittelmeergebiet erreichten in den 1980er-Jahren 42 Jahre in Portugal, 53 Jahre in Italien, 83 Jahre in Frankreich und 110 Jahre in Griechenland (MORENO 1998). Im Folgenden wird eine zusammenfassende Übersicht über die langfristigen Wechselwirkungen zwischen Feuer und Vegetation in der Schweiz gegeben. Grundlage dazu sind die in den letzten Jahren durchgeführten paläoökologischen Untersuchungen aus dem Mittelland, den Nord- und Zentralalpen sowie der Südschweiz.

Methodische Aspekte

Mit paläoökologischen Methoden ist es möglich, die langfristige Feuergeschichte und Feuerökologie einer Region zu rekonstruieren. Werden feuergeschichtliche und vegetationsgeschichtliche Datenreihen verglichen, kann der Einfluss des Feuers auf die Pflanzendecke rekonstruiert werden. Im Vordergrund stehen dabei die Resultate der Pollen-, Makrorest- und Holzkohleanalysen. Bei diesen Verfahren werden Informationen aus Feuchtablagerungen (z.B. Moore, Seen) gewonnen, indem die dort enthaltenen Mikro- und Makrofossilien (z.B. Pollen, Holzkohle, Früchte, Blätter) tiefenabhängig bestimmt und quantifiziert und die entsprechenden Ablagerungen mit physikalischen Methoden (^{14}C , ^{210}Pb , ^{137}Cs) datiert werden. Aus den Tiefenreihen entstehen durch Tiefen-Altersmodelle Zeitreihen, indem zwischen den Datierungen (z.B. linear) interpoliert wird. Diese Zeitreihen können mittels Korrelations- und Zeitreihenanalyse (z.B. Kreuzkorrelationen) quantitativ ausgewertet werden. Die Chronologie der im Folgenden vorgestellten Resultate basiert auf Altersbestimmungen terrestrischer Pflanzenreste durch die AMS- ^{14}C -Methode. Für weitere Details zur feuerökologischen Methodik wird z.B. auf TINNER *et al.* (1999) und STÄHLI (2004) verwiesen. Die wichtigsten Untersuchungsstandorte sind in *Abbildung 1* abgebildet.

Langzeit-Feuerökologie des Schweizerischen Mittellands

Die Langzeit-Feuerökologie des Schweizerischen Mittellands wurde anhand zweier paläoökologisch gut untersuchter Lokalitäten rekonstruiert, dem Lobsigensee und dem Soppensee (*Abbildung 1*, TINNER *et al.* in press).

Im Schweizerischen Mittelland etablierten sich nach 8200 vor heute (v.h., 6250 v.Chr.) *Fagus sylvatica*- und *Abies alba*-Bestände, vermutlich als Folge einer Klimaänderung hin zu feuchteren und ozeanischeren Verhältnissen (TINNER & LOTTER 2001). Die späte Ausbreitung dieser beiden Arten ist in Mittel-

TINNER, W.; ALLGÖWER, B.; AMMANN, B.; CONEDERA, M.; GOBET, E.; LOTTER, A.F.; STÄHLI, M.: Ausmass und Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation der Schweiz im Laufe der Jahrtausende

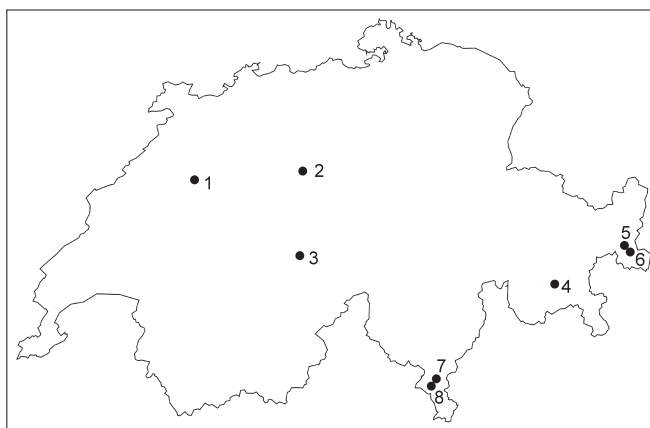


Abbildung 1: Geografische Lage der Untersuchungsstandorte.

1 = Lobsigensee (BE), 2 = Soppensee (LU), 3 = Sägistalsee (BE),
4 = Lej da San Murezzan (GR), 5 = Il Fuorn (GR), 6 = Fuldera (GR),
7 = Lago di Origlio (TI), 8 = Lago di Muzzano (TI).

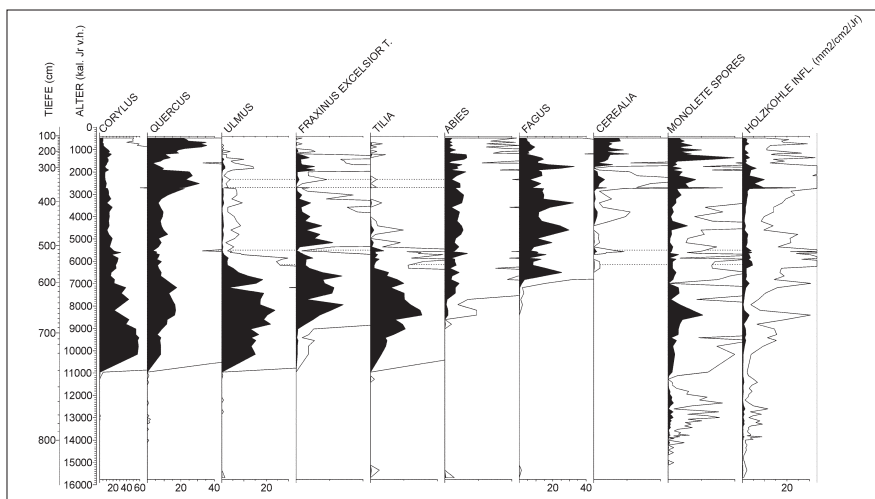


Abbildung 2: Pollen- und Holzkohlediagramm des Lobsigensees.

Ausgewählte Taxa in %. Linienkurven = 10-mal überhöht. Pollenanalyse B. Ammann, Holzkohleanalyse W. Tinner («T»: Pollen-Typ).

europa kontrovers diskutiert worden; es wird davon ausgegangen, dass Migrationsverzögerungen, im Gegensatz zur herrschenden Lehrmeinung, keine bedeutende Rolle spielten (TINNER & LOTTER 2001).

Am Lobsigensee (Abbildung 2) erreichten Holzkohlereste in den Seeablagerungen um 6200, 5500, 2700 und 2350 v.h. (4250, 3550, 750, 400 v.Chr., Abbildung 2) hohe Werte. Damit verbundene starke Pollenschwankungen deuten auf markante Vegetationsreaktionen als Folge von Waldbränden hin. Zum Beispiel waren Abnahmen der Pollenprozentwerte von *Ulmus*, *Fraxinus*, *Tilia*, *Hedera* und *Fagus* mit dem ersten Holzkohlegipfel um 6200 v.h. (4250 v.Chr.) verbunden. Ähnliche Reaktionen von *Ulmus*, *Fraxinus*, *Hedera* und *Fagus* ereigneten sich zeitgleich mit einem Holzkohlegipfel um 5500 v.h. (3550 v.Chr.), und sie waren, wie schon um 6200 v.h., von starken Zunahmen von *Corylus* begleitet. Dieses zweite Feuerereignis war mit einer allgemeinen Entwaldung und mit einer starken Zunahme stockauschlagender Gehölze wie *Salix* und *Corylus* verbunden (TINNER *et al.* in press). Die gleichzeitige Zunahme von Kulturzeigern (z.B. *Cerealia*, *Plantago lanceolata*, *Asteroidaeae*, *Artemisia*) lassen darauf schliessen, dass die Waldbrände das Ergebnis menschlicher Tätigkeiten zur Gewinnung von Ackerflächen und Weideland waren. Ähnliche Muster der Waldöffnung, der Vegetationsveränderungen (z.B. Zunahme von *Salix*, Abnahme von *Fagus* und *Ulmus*) und der Feuereinwirkung sind auf 2700 und 2350 v.h. (750 und 400 v.Chr.) datiert; sie wurden sehr wahrscheinlich durch intensive landwirtschaftliche Tätigkeiten verursacht (siehe z.B. *Cerealia*, Abbildung 2).

Im Sedimentarchiv des Soppensees (Abbildung 3) sind die vorgeschichtlichen Holzkohlewerte sehr tief. Trotzdem sind zwei neolithische Holzkohlegipfel auf 6200 und 5500 v.h. (4250 und 3550 v.Chr.) datiert, in bester Übereinstimmung mit

den Resultaten vom Lobsigensee. Obwohl diese Werte diejenigen des Mesolithikums und Paläolithikums nicht überstiegen, lassen die abnehmenden Pollenwerte von z.B. *Ulmus*, *Tilia* und *Hedera* vermuten, dass die Zunahme der Waldbrände die Vegetation beeinflusste. Dieses Muster der Vegetationsveränderung ist eng mit demjenigen am Lobsigensee verbunden, wenn auch die Wirkung der Waldbrände auf die Vegetation am Soppensee viel geringer ausfiel. So änderte sich im Gegensatz zum Lobsigensee das Verhältnis zwischen Baum- und Kräuterpollen kaum (TINNER *et al.* in press), ein deutliches Indiz für geschlossen verbliebene Wälder. Grössere Waldöffnungen sind am Soppensee nur während und nach der Bronzezeit belegt (um und nach 3450 v.h.); sie waren teilweise mit Feuerereignissen verbunden (Holzkohlegipfel um 3450, 2600 und 2100 v.h., 1500, 650, 150 v.Chr.). Die Zunahme der Kulturindikatoren (z.B. *Cerealia*, *Plantago lanceolata*, *Rumex t.*, *Urtica*) zeigt, dass die Waldbrände und die Entwaldungen um 3450, 2600 und 2100 v.h. eng mit dem Landbau verbunden waren. Allerdings begann die stärkste Waldöffnungsphase am Soppensee um 1225 bis 1145 v.h. (725 bis 805 n.Chr.), also Jahrhunderte bevor die Feueraktivitäten um 990 bis 540 v.h. (960 bis 1410 n.Chr.) zunahmen (Abbildung 3). Es ist erstaunlich, dass sich das Feuerregime am Soppensee erst nach 540 v.h. (1420 n.Chr.) von demjenigen des Paläolithikums unterscheidet. Im Gegensatz dazu scheinen am Lobsigensee (Abbildung 2) die Menschen das Feuerregime bereits seit dem Neolithikum stark verändert zu haben.

Für die Periode 6600 bis 4400 v.h. (4650 bis 2650 v.Chr.) kann auf Grund der Korrelationsanalyse (zwischen mikroskopischer Holzkohle und Pollen) nicht auf eine signifikante Verbindung zwischen Feuer und Vegetation am Soppensee geschlossen werden, währenddem am Lobsigensee Zunahmen

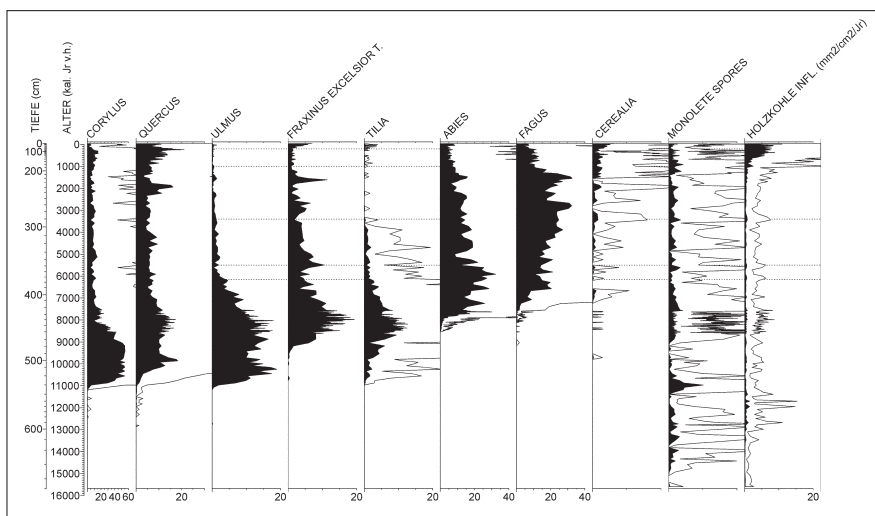


Abbildung 3: Pollen- und Holzkohlediagramm des Soppensees.

Ausgewählte Taxa in %. Linienkurven = 10-mal überhöht. Pollenanalyse A.F. Lotter, Holzkohleanalyse W. Tinner.

von *Corylus* und Abnahmen von *Fagus* signifikant mit Zunahmen der Holzkohle verbunden waren (TINNER *et al.* in press). Die Korrelationsanalysen am Lobsigensee und Soppensee zeigen, dass zwischen 4250 und 1150 v.h. (2300 v.Chr. bis 800 n. Chr.) Feuer absichtlich gelegt wurden, um die Wälder zu öffnen und offene Flächen für die Landwirtschaft zu gewinnen (z.B. signifikante positive Korrelationen zwischen Holzkohle und *Cerealia*, *Plantago lanceolata*, *Asteroidae*).

Zu ähnlichen Schlüssen waren bereits frühere Arbeiten gekommen, die betonten, dass feuerempfindliche Bäume wie z.B. *Ulmus* durch Waldbrände stark zurückgedrängt wurden (HAAS 1996). In guter Übereinstimmung mit der Situation am Lobsigensee breiteten sich auch im nahen Süddeutschland feuerresistente *Corylus*-Gebüsche auf Kosten von *Fagus*, *Tilia*, *Ulmus* und *Fraxinus* aus (CLARK *et al.* 1989). Heute sind die drei letztgenannten Arten nur noch spärlich in den Wäldern der Region vertreten. Die vorhandenen Studien deuten darauf hin, dass es im Zuge der Waldbrände zu einer selektiven Bevorzugung relativ feuerresistenter Baumarten (z.B. *Fagus sylvatica*, *Quercus robur*, *Q. petraea*) kam (für Feuerempfindlichkeit siehe z.B. DELARZE *et al.* 1992; HOFMANN *et al.* 1998; TINNER *et al.* 2000).

Langzeit-Feuerökologie der Nordalpen

Bisher gibt es nur sehr wenige feuergeschichtliche und feuerökologische Untersuchungen aus den Schweizerischen Nordalpen. Erste Resultate deuten darauf hin, dass das Feuer auch in den Nordalpen ein entscheidender ökologischer Faktor bei der Verdrängung bzw. Förderung bestimmter Baumarten war (WICK *et al.* 2003). Makrorestuntersuchungen konnten eindeutig belegen, dass *Abies alba* und *Pinus cembra* beim Sägistalsee im Berner Oberland (*Abbildung 1*, 1935 m) nach 8500 v.h. (6550 v.Chr.) Mischbestände bildeten, bevor sie durch Brandrodungen um 3700 v.h. (1750 v.Chr.) und möglicherweise durch einen klimatischen Wechsel zu feucht-kühlerem Klima von der Waldgrenze verdrängt wurden. Diese Weisstannen-Arven-Mischbestände, zu denen sich nach 6300 v.h. (4350 v.Chr.) auch *Picea abies* gesellte, haben in der heutigen Vegetation keine Entsprechung mehr, das Einsetzen von Feuer als Rodungswerkzeug wirkte in diesem Falle negativ auf die Vielfalt der Waldgemeinschaften aus. Waldbrände gab es am Sägistalsee zwar schon vor den Brandrodungen, ihre Häufigkeit war aber bedeutend geringer als um und nach 3700 v.h.

Langzeit-Feuerökologie der Zentralalpen

Ein ähnlicher Ansatz wie am Soppensee und Lobsigensee wurde für feuerökologische Untersuchungen am Lej da San Murezzan (*Abbildung 1*, St. Moritzersee) im Oberengadin gewählt (GOBET *et al.* 2003; GOBET *et al.* 2004). Am Übergang zwischen Mesolithikum und Neolithikum stiegen die mikroskopischen Holzkohlewerte stark an (7700 v.h., 5750 v.Chr.), was auf eine Zunahme der regionalen Brände deutet. Danach stabilisierte sich die Waldbrandhäufigkeit auf relativ hohen Werten. Zwei Abschnitte um 3750 v.h. (1800 v.Chr.) und 500 v.h. (1450 n.Chr.) weisen starke, wenn auch teilweise nur kurz andauernde Waldbrandphasen auf, die eindeutig anthropogenen Ursprungs sind. Die Auswirkungen auf die Vegetation wurden für den Zeitabschnitt 3900 bis 3570 v.h. (1950 bis 1620 v.Chr.) genauer untersucht. Mittels Zeitreihenanalyse war es möglich, die Verbindung zwischen Feuer (Holzkohle) und Vegetation (Pollen) zu quantifizieren und die Sukzessionsdynamik nach Waldbränden quantitativ zu rekonstruieren (*Abbildung 4*). Die Waldbrände bewirkten einen (vorübergehenden) Rückgang der subalpinen Waldbäume *Pinus cembra* und *Larix*

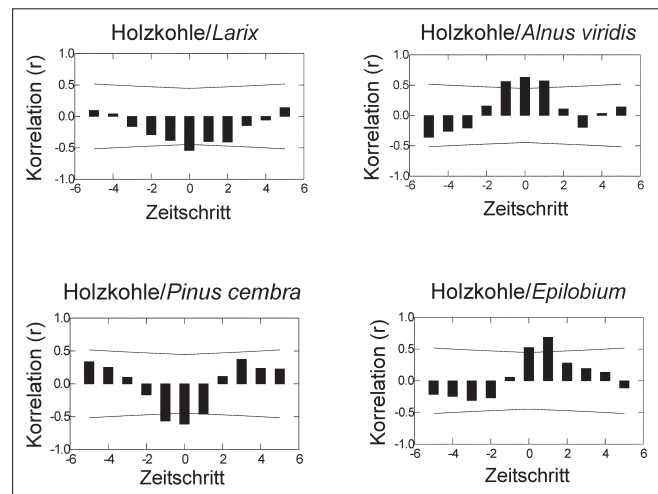


Abbildung 4: Kreuzkorrelogramme für die Untersuchungen am Lej da San Murezzan (St. Moritzersee).

Holzkohleinflux vs. Pollenprozentage, 1 Zeitschritt = 17 Jahre. Negative Zeitschritte sind ein Mass des Einflusses der Vegetation auf die Feuer, positive Zeitschritte des Feuers auf die Vegetation. Für die feuerökologische Interpretation basieren wir uns auf die maximale Korrelation. Z.B. bei *Epilobium* im Zeitschritt +1, d.h. *Epilobium* erreichte Maximalwerte etwa 17 bis 34 Jahre nach dem Feuer. Pollenanalyse E. Gobet und J.F.N. van Leeuwen, Holzkohleanalyse E. Gobet und W. Tinner.

decidua, während feuerangepasste Sträucher und Kräuter wie *Alnus viridis*, *Epilobium*, *Aconitum* und *Botrychium* stark gefördert wurden. Die Massenausbreitung von *Alnus viridis*-Gebüschen an Stelle von Gebirgswäldern scheint eng an Feuer gekoppelt zu sein: Ein Zusammenhang zwischen der holozänen Massenausbreitung von *Alnus viridis* und Waldbränden ist auch für die Italienischen Zentralalpen belegt (WICK 1994).

Eine neue Untersuchung aus dem Unterengadin deutet darauf hin, dass Waldbrände für die Erhaltung der Artenvielfalt in den kontinentalen Zentralalpen von Bedeutung sein können. Aufgrund von Pollen- und Makrorestresultaten scheint die forstlich kaum beachtete Bergföhre *Pinus mugo ssp. uncinata* die natürlich dominierende Baumart bei Il Fuorn (Ofenpass) im Schweizerischen Nationalpark zu sein, währenddem *Picea abies* dieselbe Rolle bei Fuldera, etwa 7 km südlich des Ofenpasses, einnimmt (*Abbildung 1*, STÄHLI 2004; STÄHLI *et al.*). Die Bergföhrenwälder (durchschnittlich ein Feuer alle 260 Jahre) weisen im Vergleich zu den Fichtenwäldern (ein Feuer alle 580 Jahre) relativ kurze Feuerintervalle auf, auch in der Phase vor der landwirtschaftlichen Nutzung. Interessanterweise zeigt der Standort von Il Fuorn im Schweizerischen Nationalpark bis in die Gegenwart hinein kaum Spuren landwirtschaftlicher Nutzung – und wenn, dann sind es sehr schwache weide- oder alpwirtschaftliche Spuren. Laut den vorliegenden Holzkohle- und Pollendiagrammen haben sich die Walddichte und die Waldzusammensetzung durch die Jahrtausende bis in die Gegenwart kaum oder überhaupt nicht verändert (STÄHLI 2004; STÄHLI *et al.*). Man kann also davon ausgehen, dass die holozäne Vegetations- und Feuersituation im Raum Il Fuorn bis in die Neuzeit mehrheitlich natürliche oder naturnahe Zustände widerspiegelt. Möglicherweise trugen die höheren natürlichen Waldbrandhäufigkeiten bei Il Fuorn dazu bei, die Dominanz der Bergföhre und damit die Vielfalt der Waldgemeinschaften zu sichern, denn potenziell natürliche Vorkommen der Bergföhre scheinen in den Alpen eher selten (ELLENBERG 1996). Weitergehende Untersuchungen werden klären müssen, inwieweit die Bergföhre von Bränden profitieren kann. Allerdings deutet die grosse Feuerresistenz verwandter Arten (z.B. *Pinus silvestris*) darauf hin, dass die Bergföhre durch Waldbrände kaum benachteiligt wird.

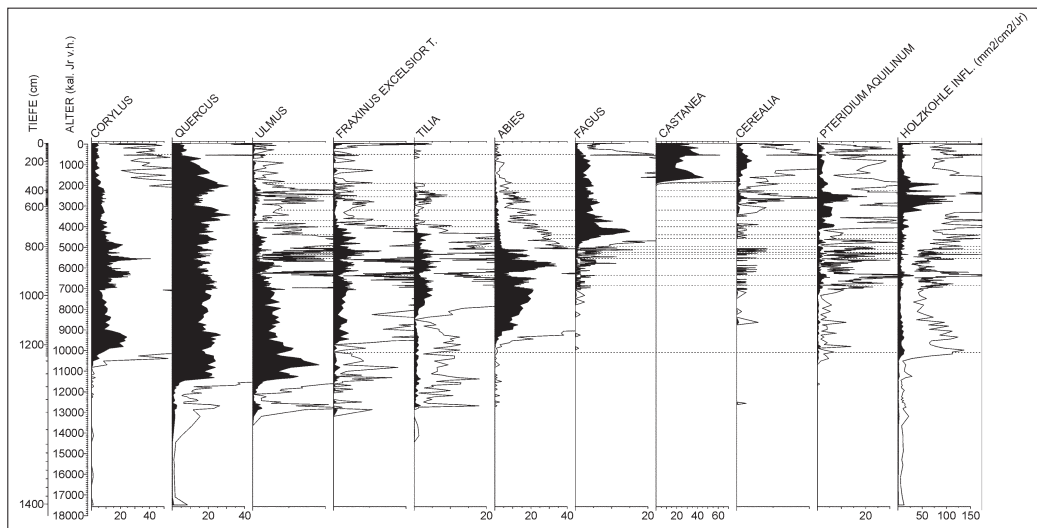


Abbildung 5: Pollen- und Holzkohle-diagramm des Lago di Origlio.

Ausgewählte Taxa in %. Linienkurven = 10-mal überhöht. Pollen- und Holzkohleanalyse W. Tinner.

Eine offene Frage ist heute, ob wir in diesem Gebiet kurz vor der Rückkehr eines natürlichen Feuerregimes stehen (ALLGÖWER *et al.* 2003). Die Ofenpasswälder wurden letztmals etwa 1850 grossräumig genutzt (PAROLINI 1995). Seither entwickelt sich die Biomasse ohne menschliche Eingriffe, denn die Unterschutzstellung verbietet jegliche Eingriffe im Schweizerischen Nationalpark (EIDGENÖSSISCHES NATIONALPARKGESETZ 1981). Theoretisch gehört dazu auch das Löschen natürlicher Waldbrände.

Langzeit-Feuerökologie der Südalpen

In den Südalpen wurde für unsere Fragestellung vorwiegend die Kastanienstufe untersucht (z.B. TINNER *et al.* 1998; WEHRLI *et al.* 1998; TINNER *et al.* 1999). Die gewonnenen Resultate deuten auf eine starke Umgestaltung der ursprünglichen, natürlichen Vegetation durch das Feuer hin. Diese Hinweise kommen vor allem aus den Untersuchungen am Lago di Origlio und am Lago di Muzzano, zwei Seen im Sottoceneri (Abbildung 1). Vor 10 200 v.h. (8250 v.Chr.) waren die Holzkohleinflusswerte an beiden Lokalitäten gering (1 bis 3 mm² cm⁻² yr⁻¹), und es gibt kaum Hinweise für Veränderungen der Waldökosysteme durch Brände. Dies änderte sich nach 10 200 v.h., als ein erstes Maximum der mikroskopischen Holzkohlepartikel mit einer Zunahme der feuerangepassten Arten *Corylus avellana* und *Pteridium aquilinum* an beiden Standorten zusammenfiel (Abbildung 5). Um 10 200 bis 9200 v.h. (8250 bis 7250 v.Chr.) bildete sich ein neuartiger Vegetationstyp, vermutlich als Folge einer klimatischen Änderung hin zu ozeanischeren Verhältnissen (TINNER *et al.* 1999; RAVAZZI 2002). *Abies alba*, *Tilia*, *Alnus glutinosa*, *Quercus*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus*, *Hedera helix*, *Corylus* und lokal auch *Fagus sylvatica* bildeten (in abnehmender Bedeutung) Mischwälder in der in-subrischen Tieflandstufe. Die meisten dieser Taxa (z.B. *Abies alba*, *Tilia*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus*, *Hedera*) wurden im Neolithikum (5500 bis 2200 v.Chr.) durch anthropogene Feuer sehr stark dezimiert oder lokal sogar vollständig verdrängt. Die Wirkungen des Feuers auf die Vegetation können beispielsweise am relativ starken Feuerereignis um 6350 v.h. (4400 v. Chr.) veranschaulicht werden (Abbildung 5), bei dem z.B. *Abies alba*, *Tilia*, *Fraxinus excelsior* sowie *Ulmus* stark zurückgingen, währendem sich z.B. *Pteridium aquilinum*, *Corylus* und *Alnus glutinosa* stark ausbreiteten (TINNER *et al.* 1999). Diese Reaktionsweisen wurden durch quantitative Verfahren bestätigt. Die Kreuzkorrelationsanalysen gaben auch Informationen über Prozesse vor und nach den Bränden, beispielsweise über die unterschiedliche Dauer der artspezifischen Sukzession nach den Waldbränden (TINNER *et al.* 1999). Nach 4100 v.h. (2150 v.Chr.) waren nur noch wenige Baumarten bestandesbildend (vor allem die relativ feuerresistenten *Quercus*

und *Alnus*). Die hohen Korrelationen zwischen Kulturindikatoren (z.B. *Cerealia*, *Plantago lanceolata*) und mikroskopischer Holzkohle belegen, dass die Feuer vorwiegend menschlichen Ursprungs waren (siehe Abbildung 5). Um 2500 v.h. (550 v. Chr.) erreichte die regionale Feueraktivität ein absolutes Maximum. Während dieser Zeit waren die Feuer so häufig, dass sich spezielle, stark feuerangepasste Vegetationstypen bildeten (*Calluna*-Heiden, *Pteridium aquilinum*-Dickichte und offene, feuerresistente Eichenwälder). Die stark zunehmende Bedeutung von *Castanea sativa* nach 1800 v.h. (150 n.Chr.) führte zu einer allgemeinen Abnahme der Waldbrände (Abbildung 5). Es ist anzunehmen, dass nach der Einführung der Kastanienkultur allmählich das Feuer als Rodungswerkzeug aufgegeben wurde, da es die Produktion von Holz und Früchten gefährdete.

Schlussfolgerungen

Als Folge von Landbaumasnahmen hat das Feuer die Vegetationszusammensetzung der Schweiz über die Jahrtausende entscheidend verändert, indem z.B. neue Standorte geschaffen (Ackerflächen, Wiesen, Weiden) oder weniger feuerempfindliche Bäume wie *Quercus* und *Fagus* gefördert wurden. Die Unterschiede zwischen den Regionen sind stark. Im Süden verschwand als Folge des Feuers ein spezieller, wenig feuerangepasster Tiefland-Vegetationstyp vollständig. Im Mittelland war die Wirkung der Waldbrände nicht so ausgeprägt; vor allem in den oberen Lagen (z.B. Soppensee) konnten sich relativ feuerempfindliche Weisstannenwälder nach Waldbränden gut halten und regenerieren. In den Zentralalpen war das Feuer eine natürliche Komponente und die vorhandene Vegetation relativ feuerangepasst. Es ist zu vermuten, dass die Feuer sogar eine wichtige Rolle bei der Erhaltung bestimmter, feuerangepasster Vegetationstypen gespielt haben könnten (z.B. Bergföhrenbestände, STÄHLI *et al.*). Die Untersuchungen aus dem Oberengadin belegen aber, dass die Waldbrandhäufigkeiten im Zuge der landwirtschaftlichen Nutzung auch in den günstigen Lagen der Zentralalpen stark zunahmen und die ursprüngliche Vegetation z.T. stark verändert wurde (z.B. Massenausbreitung der Grünerlen). In Bezug auf die Auswirkungen der Waldbrände auf die Vegetation können die Unterschiede zwischen den Regionen durch die unterschiedliche Bedeutung des Feuers erklärt werden. Beispielsweise war der mittlere Holzkohle-Influss im Sottoceneri während des Neolithikums 25 Mal höher als im Schweizerischen Mittelland. In der Bronzezeit war der Unterschied weniger ausgeprägt; im Süden aber waren die Waldbrände immer noch um Grössenordnungen häufiger (etwa 5- bis 10-mal, siehe TINNER *et al.* in press). Das Weiterbestehen feuerempfindlicher Waldtypen

(z.B. *Abies alba*) sowie das Fehlen feuerangepasster Vegetationstypen im Norden (z.B. *Calluna-vulgaris*-Heidelandschaften) kann somit durch geringere Feuerhäufigkeiten erklärt werden. *Calluna-vulgaris*-Heidelandschaften (in denen teilweise *Pteridium aquilinum* stark vertreten ist) haben sich in Nord-, West-, und Mitteleuropa überall dort ausgebildet, wo regelmässiges, kontrolliertes Brennen zur Landnutzung eingesetzt wurde (HAALAND 2002). Die meisten dieser Heidelandschaften haben eine jahrtausendealte Geschichte (KALAND 1986; ODGAARD 1992; HAALAND 2002).

Die paläoökologischen Resultate liefern wertvolle Erkenntnisse für die Lenkung zukünftiger Wald- und Landschaftsentwicklungen. Sollten dereinst die Waldbrände als Folge der prognostizierten Klimaerwärmung zunehmen, wären beispielsweise die verbliebenen feuerempfindlichen *Abies-alba*-Bestände nördlich der Alpen besonders gefährdet. Obwohl *Fagus sylvatica* die holozänen Waldbrände besser überstand als *Abies alba* und die meisten thermophilen Waldbäume (z.B. *Ulmus*, *Tilia*), wurde die Buche durch die Waldbrände auch nördlich der Alpen spürbar reduziert, was auf eine gewisse Sensitivität der Art auf Feuerstörungen schliessen lässt. Von solchen Mustern nördlich und südlich der Alpen kann aber nicht auf die Gesamtheit der Schweiz geschlossen werden. Natürliche Feuer erreichten in den Zentralalpen hohe Häufigkeiten, und es gibt erste Hinweise darauf, dass sie eine Bedeutung für die Erhaltung der Artenvielfalt in diesen kontinentalen Räumen haben.

In Anbetracht der Unterschiede zwischen den Regionen und Stufen scheint es wichtig, die noch vorhandenen Wissenslücken zur langfristigen Feuerökologie zu schliessen. Beispielsweise fehlen feuerökologische Untersuchungen aus der kollinen Stufe der Zentralalpen. Im Wallis haben die *Quercus-Pinus-silvestris*-Wälder mit nur wenig Veränderungen z.B. in Bezug auf die Waldzusammensetzung dem menschlichen Nutzungsdruck der letzten Jahrtausende standgehalten (TINNER & AMMANN 2005). Im Gegensatz zu den Nord- und Südalpen bewirkten orografische Effekte, dass die früh-, mittel- und spätholozänen Klimasituationen (d.h. der letzten 11000 Jahre) durchaus vergleichbar sind. Die *Quercus-Pinus-silvestris*-Wälder sind wegen des kontinentalen Klimas vermutlich von Natur aus feueranfälliger als ihre Gegenstücke in den Nord- und Südalpen. Die wichtigsten Bäume (*Quercus*, *Pinus*) haben deshalb (auf Grund ihrer Stammesgeschichte) wirkungsvolle Strategien entwickelt, um sich vor Feuer zu schützen. Es ist anzunehmen, dass die hohe Elastizität dieser Wälder nicht nur von der Klimapersistenz, sondern auch durch die Resistenz gegen Störungen bewirkt wurde. Diese Hypothese kann aber nur mit neuen feuerökologischen Studien aus dem Wallis überprüft werden.

Zusammenfassung

Neue paläoökologische Untersuchungen (Pollen-, Makrorest-, Holzkohleanalysen aus Sedimenten) geben wichtige Hinweise auf die Feuergeschichte und die Langzeitfeuerökologie verschiedener Regionen der Schweiz. Die Ergebnisse aus dem Schweizerischen Mittelland, den Nord- und Zentralalpen sowie der Südschweiz deuten auf eine unterschiedliche Rolle der Brände in Bezug auf die Langzeitentwicklung der Vegetation hin. In den Nordalpen und der Südschweiz führten anthropogene Waldbrände zum Verschwinden ganzer Waldgemeinschaften. Diese Brände trafen insbesondere die kaum feuerresistente Art *Abies alba*. Im Mittelland war die Feuerfrequenz deutlich tiefer als in den Südalpen. Trotzdem führten im tieferen Mittelland (*Fagus sylvatica*-*Quercus*-Stufe) die Feuer sehr wahrscheinlich zu einer Abnahme feuerempfindlicher Taxa wie *Ulmus*, *Fraxinus excelsior* oder *Tilia*. Erste Hinweise aus den Zentralalpen deuten darauf hin, dass Waldbrände in dieser Re-

gion von Natur aus relativ häufig waren und dass die Vegetation dieser kontinentalen Gebiete besser feuerangepasst ist als die ursprünglichen (durch menschliche Einwirkung teilweise oder ganz verschwundenen) Pflanzengemeinschaften im Mittelland, den Nordalpen und der Südschweiz.

Résumé

Ampleur et conséquences des incendies de forêt sur la végétation de la Suisse au fil des millénaires

De récentes études paléoécologiques (analyses de pollen, de restes macroscopiques et de charbon de bois issus de sédiments) ont livré de précieux renseignements sur l'histoire et l'écologie du feu à long terme dans diverses régions de Suisse. Les résultats provenant du Plateau, des Alpes septentrionales et centrales ainsi que du sud du pays soulignent le rôle variable des incendies en ce qui concerne l'évolution de la végétation à long terme. Au Nord des Alpes et au Sud de la Suisse, les incendies de forêt d'origine humaine ont entraîné à la disparition totale d'associations forestières. Le feu a particulièrement affecté *Abies alba*, une essence peu résistante à cet élément. Sur le Plateau, la fréquence des incendies était nettement inférieure à celle du Sud des Alpes. Cependant le feu a conduit, selon tout vraisemblance, au recul d'essences sensibles telles que *Ulmus*, *Fraxinus excelsior* ou *Tilia* dans les régions basses du Plateau (étage de *Fagus sylvatica*-*Quercus*). Les premiers résultats issus des Alpes centrales montrent que les incendies de forêt étaient par nature assez fréquents dans cette région et révèle que la végétation de ces contrées continentales est mieux adaptée au feu que les associations végétales d'origine du Plateau, du Nord des Alpes et du Sud de la Suisse (que l'influence humaine a fait disparaître partiellement ou totalement).

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Riassunto

Frequenza degli incendi boschivi e loro effetti sulla vegetazione della Svizzera nel corso dei secoli

Nuove ricerche paleoecologiche (analisi polliniche, di macroresti e microcarboni nei sedimenti) hanno permesso di approfondire le conoscenze sulla storia e l'ecologia degli incendi sul lungo periodo per diverse regioni della Svizzera. I risultati suggeriscono un differente ruolo del fuoco nelle regioni dell'Altopiano, nei versanti settentrionale e meridionale delle Alpi e nelle Alpi Centrali nella modulazione della vegetazione. Nel versante settentrionale delle Alpi e nel Sud della Svizzera gli incendi di origine antropica hanno portato alla scomparsa di intere consociazioni boschive. Questi incendi hanno colpito in particolare l'*Abies alba*, una specie arborea assolutamente sensibile al fuoco. Nell'Altopiano la frequenza degli incendi è stata nettamente più bassa che al Sud delle Alpi: ciononostante negli orizzonti più bassi (nella zona della quercia e delle faggete) il fuoco ha portato molto probabilmente a una riduzione delle componenti arboree più piroresistenti quali *Ulmus*, *Fraxinus excelsior* o *Tilia*. Risultati preliminari riferiti alle Alpi Centrali lasciano supporre che gli incendi di bosco in queste regioni continentali erano abbastanza frequenti già per natura e che la vegetazione era meglio adattata al fuoco rispetto alle consociazioni vegetali (in parte scomparse) dell'Altopiano e dei versanti settentrionale e meridionale delle Alpi.

Summary

Relevance and effects of fire disturbance on vegetation in Switzerland during the past millennia

New palaeoecological investigations (pollen, macrofossil, and charcoal analyses) provide important evidence on the fire his-

tory and the long-term fire ecology of different regions of Switzerland. The results from the Swiss plateau, the Northern and Central Alps and Southern Switzerland suggest that fire played a different role for the long-term vegetational development in the different regions. In the Northern Alps and Southern Switzerland anthropogenic fires led to the disappearance of entire forest communities. These fires especially affected the fire-sensitive species *Abies alba*. On the Swiss Plateau fire frequencies were markedly lower than in the Southern Alps. Nevertheless, fires probably led to a decline in the occurrence of fire-sensitive taxa such as *Ulmus*, *Fraxinus excelsior* or *Tilia* at lower altitudes (*Fagus sylvatica-Quercus* belt). First evidences from the Central Alps suggest that forest fires were naturally more frequent in this continental region and that the vegetation might be better fire-adapted than the original (partly or completely vanished) plant communities of the Swiss Plateau, the Northern Alps and Southern Switzerland.

Literatur

- ALLGÖWER, B.; BUR, M.; STÄHLI, M.; KOUTSIAS, N.; TINNER, W.; CONEDERA, M.; STADLER, M.; KALTENBRUNNER, A. 2003: Can long-term wildland fire history help to design future fire and landscape management? – An approach from the Swiss Alps. Proceedings of the 3rd Wildland Fire Conference and Exposition, Sydney, Australia. CD-ROM, 11 p.
- BERLI, S.; CHERUBINI, P.; SCHOCH, W. 1994: Reconstruction of Stand Fluctuations, Soil Development and Fire History over 7000 Years Bp by Means of Charcoal Analysis. *Botanica Helvetica* 104, 1: 17–30.
- CLARK, J.S.; MERKT, J.; MÜLLER, H. 1989: Post-glacial fire, vegetation, and human history on the northern alpine forelands, southwestern Germany. *Journal of Ecology* 77: 897–925.
- CONEDERA, M.; MARCOZZI, M.; JUD, B.; MANDALLAZ, D.; CHATELAIN, F.; FRANK, C.; KIENAST, F.; AMBROSETTI, P.; CORTI, G. 1996: Incendi boschivi al Sud delle Alpi: passato, presente e possibili sviluppi futuri. vdf, Hochschulverlag ETH Zürich, Zürich, 143 pp.
- DELARZE, R.; CALDELARI, D.; HAINARD, P. 1992: Effects of Fire on Forest Dynamics in Southern Switzerland. *Journal of Vegetation Science* 3, 1: 55–60.
- ELLENBERG, H. 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht. E. Ulmer, Stuttgart, 1096 pp.
- GOBET, E.; HOCHULI, P.A.; AMMANN, B.; TINNER, W. 2004: Vom Urwald zur Kulturlandschaft des Oberengadins – Vegetationsgeschichte der letzten 6200 Jahre. *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte* 87: 255–270.
- GOBET, E.; TINNER, W.; HOCHULI, P.A.; VAN LEEUWEN, J.F.N.; AMMANN, B. 2003: Middle to Late Holocene vegetation history of the Upper Engadine (Swiss Alps): the role of man and fire. *Vegetation History and Archaeobotany* 12, 3: 143–163.
- HAALAND, S. 2002: Feuer und Flamme für die Heide. Verlag H. M. Hauschild, Bremen, 160 pp.
- HAAS, J.N. 1996: Pollen and plant macrofossil evidence of vegetation change at Wallisellen-Langachemoos (Switzerland) during the Mesolithic-Neolithic transition 8500 to 6500 years ago. *Dissertationes Botanicae* 267: 67.
- HAAS, J.N.; HADORN, P. 1998: Die Vegetations- und Kulturlandschaftsgeschichte des Seebachtals von der Mittelsteinzeit bis zum Frühmittelalter anhand von Pollenanalysen. *Archäologie im Thurgau* 4: 221–255.
- HOFMANN, C.; CONEDERA, M.; DELARZE, R.; CARRARO, G.; GIORGETTI, P. 1998: Effets des incendies de forêt sur la végétation au Sud des Alpes Suisses. *Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt Wald, Schnee und Landschaft* 73: 1–90.
- KALAND, P.E. 1986: The origin and management of Norwegian coastal heaths as reflected by pollen analysis. In: K.E. Behre (eds.), *Anthropogenic indicators in pollen diagrams*. Balkema, Rotterdam, pp. 19–36.
- KALTENBRUNNER, A. 2004: Das Waldbrandjahr 2003. Interner Bericht. Amt für Wald Graubünden, Chur, 8 S.
- LANGHART, R.; BACHMANN, A.; ALLGÖWER, B. 1998: Spatial and temporal patterns of fire occurrence (Canton of Grison, Switzerland). In: Proceedings of the 3rd International Conference on Forest Fire Research / 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, edited by D.X. Viegas, Luso, Portugal, Vol. 2: 2279–2292.
- LUTERBACHER, J.; DIETRICH, D.; XOPLAKI, E.; GROSJEAN, M.; WANNER, H. 2004: European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303, 5663: 1499–1503.
- MORENO, J.M. 1998: Recent history of forest fires in Spain. In: J.M. Moreno (eds.), *Large forest fires*. Backhuys, Leiden: 159–185.
- ODGAARD, B.V. 1992: The fire history of Danish heathland areas as reflected by pollen and charred particles in lake sediments. *The Holocene* 2: 218–226.
- PAROLINI, J.D. 1995: Zur Geschichte der Waldnutzung im Gebiet des heutigen Schweizerischen Nationalparks. Dissertation ETH, Zürich.
- RAVAZZI, C. 2002: Late Quaternary history of spruce in southern Europe. Review of Palaeobotany and palynology.
- RICHOZ, I. 1998: Etude paléocécologique du lac de Seedorf (Fribourg, Suisse). Histoire de la végétation et du milieu durant l'Holocène: le rôle de l'homme et du climat. *Dissertationes Botanicae* 293: 1–177.
- STÄHLI, M. 2004: Holozäne Feuergeschichte und Feuerökologie des Schweizerischen Nationalparks. Dissertation, Universität Zürich, Zürich, 100 pp.
- STÄHLI, M.; FINSINGER, W.; TINNER, W.; ALLGÖWER, B. eingereicht: Wildland fire history and fire ecology of the Swiss National Park (Central Alps): New evidence from charcoal, pollen and plant macrofossils. *The Holocene*.
- TINNER, W.; AMMANN, B. 2005: Long-term responses of mountain ecosystems to environmental changes: Resilience, adjustment, and vulnerability. In: U.M. Huber, H. Bugmann, M. Reasoner (eds.): *Global change and mountain research – state of knowledge overview*. Advances in global change research. Springer, Dordrecht: 133–144.
- TINNER, W.; CONEDERA, M.; AMMANN, B.; GÄGGELER, H.W.; GEDYE, S.; JONES, R.; SÄGESSER, B. 1998: Pollen and charcoal in lake sediments compared with historically documented forest fires in southern Switzerland since AD 1920. *The Holocene* 8, 1: 31–42.
- TINNER, W.; CONEDERA, M.; AMMANN, B.; LOTTER, A.F.: Fire ecology north and south of the Alps since the last ice-age. *The Holocene*, in press.
- TINNER, W.; CONEDERA, M.; GOBET, E.; HUBSCHMID, P.; WEHRLI, M.; AMMANN, B. 2000: A palaeoecological attempt to classify fire sensitivity of trees in the southern Alps. *The Holocene* 10, 5: 565–574.
- TINNER, W.; HUBSCHMID, P.; WEHRLI, M.; AMMANN, B.; CONEDERA, M. 1999: Long-term forest fire ecology and dynamics in southern Switzerland. *Journal of Ecology* 87: 273–289.
- TINNER, W.; LOTTER, A.F. 2001: Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology* 29: 551–554.
- WEHRLI, M.; CONEDERA, M.; HOFMANN, C.; TINNER, W. 1998: Vegetation responses to forest fires in the Swiss Southern Alps. In: L. Traubaud (ed.): *Fire Management and Landscape Ecology*. International Association of Wildland Fire, Fairfield, Washington: 167–174.
- WELTEN, M. 1982: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schweizerischen Nationalparks. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark 16.
- WICK, L. 1994: Vegetation development and human impact at the forest limit: Palaeoecological studies in the Splügen pass area (north Italy). *Monografie di Natura Bresciana* 20: 123–132.
- WICK, L.; VAN LEEUWEN, J.F.N.; VAN DER KNAAP, W.O.; LOTTER, A.F. 2003: Holocene vegetation development in the catchment of Sägistalsee (1935 m asl), a small lake in the Swiss Alps. *Journal of Paleolimnology* 30, 3: 261–272.

Autorinnen und Autoren

PD Dr. WILLY TINNER, Prof. Dr. BRIGITTA AMMANN, Dr. ERIKA GOBET, Abteilung Paläoökologie, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern, Altenbergrain 21, 3013 Bern.
 Dr. BRITTA ALLGÖWER, GIS Schweizerischer Nationalpark (GIS-SNP), Geografisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich.
 MARKUS STÄHLI, dipl. Geogr., Geografisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich.
 MARCO CONEDERA, dipl. Forsting. ETH, FNP Sottostazione Sud delle Alpi, via Belsoggiorno 22, casella postale 57, 6500 Bellinzona.
 Prof. Dr. ANDRÉ F. LOTTER, Dept. of Biology Palaeoecology, Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Utrecht University, Budapestlaan 4, NL-3584 CD Utrecht, Netherlands.
 *Kontakte E-Mail: willy.tinner@ips.unibe.ch.